

**Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en
Vierhuizen**
Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2009

NAM B.V.

<i>EP Document Nummer.:</i>	EP201005315203	<i>Owner:</i>	UIE/T/DPE
<i>Revision No.:</i>	1		
<i>Document Date:</i>	Mei 2010	<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).

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. Rapportagemomenten zijn in dit protocol vastgesteld.

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. Het totaal geproduceerde gasvolume van de nieuwe Waddenzee gasvelden Nes, Moddergat, Lauwersoog Oost en West en Vierhuizen tezamen was tot en met 2009 iets minder dan het geplande volume dat in het bovengenoemde winningsplan is vermeld.

Volgens het meetprogramma zijn in 2009 GPS metingen uitgevoerd op alle peilmerken van de clusters in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag. Ook is een waterpas campagne uitgevoerd op het eiland Ameland en zijn GPS metingen verricht op de 2 productieplatforms in de Noordzee.

De continue GPS metingen op de locaties boven de gasvelden Anjum en Moddergat, die respectievelijk in juni en december 2006 zijn gestart (nog voor aanvang van de productie in Nes en Moddergat), zijn in 2009 voortgezet.

Na herinterpretatie van de seismiek zijn de geologische modellen van de gasvelden Anjum, Metslawier, Nes, Moddergat en Lauwersoog-C, -W en -O herzien en aangepast. Gedetailleerde dynamische reservoir simulatie modellen zijn opnieuw gebouwd en met de gemeten gasproductie en reservoirdruk gegevens gekalibreerd. Vervolgens is ook het geomechanische bodemdalingsmodel voor deze velden aangepast. Kalibratie met de gemeten bodemdaling sinds de start van de productie in 1997 in Anjum is uitgevoerd voor het hele gebied, waarbij de metingen in de Waddenzee boven de velden Nes, Moddergat en Lauwersoog-C, -O en -W ook zijn meegenomen. Voor het gasveld Vierhuizen zal volgend jaar het reservoir simulatie model worden aangepast. Voor dit veld is in deze rapportagecyclus hetzelfde model gebruikt als voor de rapportage van 2008, maar zijn de parameters van reservoir simulatie en bodemdalingsmodellen wel gekalibreerd met de gemeten data.

De productie capaciteit van de Lauwersoog velden is lager dan oorspronkelijk aangenomen. Zoals reeds in de rapportage van 2008 is aangegeven, wordt een gedeelte van de voor de Lauwersoog velden geplande productie overgenomen door het veld Nes om de geplande totale productie van de Waddenzee velden, zoals aangegeven in het winningsplan uit 2006, te kunnen realiseren.

Gebaseerd op geologische en reservoir simulatie analyses zijn naast het meest waarschijnlijk reservoirdruk depletie scenario andere mogelijke scenario's opgesteld

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

(een totaal van acht mogelijk bodemdaling scenario's). Na kalibratie met de gemeten bodemdaling sinds de start van de gasproductie is voor elk van deze scenario's met behulp van een Monte Carlo Markov chain simulatie de onzekerheid in gemodelleerde en voorspelde bodemdaling bepaald. Hieruit is de totale onzekerheid voor het meest waarschijnlijke bodemdalingsscenario bepaald.

Hoewel door de verbeterde dynamische reservoir modellering de gemodelleerde bodemdalingssnelheid beter overeenkomt met de met behulp van continue GPS gemeten dalingssnelheid op de locatie Moddergat, is de gemodelleerde dalingssnelheid daar nog steeds te hoog. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een nog steeds te brede gemodelleerde bodemdalingsskom door gasproductie uit Anjum en Metslawier.

Voor modellering van de bodemdaling veroorzaakt door de gasproductie van de Ameland voorkomens wordt het geomechanische bodemdalingssmodel volgens het winningsplan 2003 (WP2003) gebruikt. Uit de sinds 2003 gemeten bodemdaling boven de Ameland velden blijkt, zoals reeds eerder is vastgesteld, dat de prognose van dit WP2003 bodemdalingssmodel, ondanks een overschrijding van het voor het winningsplan gemodelleerde productieprofiel, de bodemdaling in de Waddenzee significant overschat. NAM is voornemens in het vierde kwartaal van dit jaar een aangepast Ameland Winningsplan in te dienen waarbij een geomechanisch model wordt voorgesteld waarmee een betere overeenkomst met de gemeten bodemdaling wordt verkregen met een overeenkomstig aangepaste voorspelling. Na instemming met dit aangepaste Ameland Winningsplan zal het nieuwe model ook in de Meet- en regelcyclus rapportage van 2010 worden toegepast.

Samenvattend kan worden geconcludeerd:

- De reservoir modellering voor de aquifers van de velden Nes, Moddergat en Lauwersoog-C, -O en -W is sterk verbeterd.
- De met de gemeten productie en reservoirdruk gekalibreerde reservoir simulatie modellen hebben geleid tot een aanpassing van de totale oorspronkelijke hoeveelheid gas (GIIP) van de nieuwe velden ($20 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \rightarrow 31 \cdot 10^9 \text{ m}^3$).
- Met een geplande totale productie, zoals aangegeven in het winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen uit 2006 zal de belasting inclusief relatieve zeespiegelstijging volgens scenario vastgelegd in hoofdstuk 4.7 van bijlage 3 van het Rijksprojectbesluit de gebruiksruijme van het kombergingsgebied Zoutkamperlaag pas na 2028 overschrijden, het jaar tot waarin is ingestemd met het winningsplan. Voor het kombergingsgebied Pinkegat zal dit veel later plaatsvinden.

Inhoud

1.	Inleiding	5
2.	Meet- en Regelcyclus Rapportage.....	6
2.1.	Metten (stap 1).....	6
	Vlakdekkende metingen.	6
	Reservoir monitoring.	6
2.2.	Analyseren meetgegevens (stap 2).....	7
	Kwaliteitscontrole en bodemdalingsberekening.....	7
	Resultaat bodemdalingsanalyse.....	7
	Waddenzee voorkomens.....	7
	Continue GPS metingen.....	9
2.3.	Verifiëren prognose (stap 3).....	9
	Kalibratie dynamisch reservoir simulatiemodellen nieuwe Waddenzeevelden.....	9
	Modellering bodemdaling	11
2.4.	Berekenen volume en gemiddelde daling (stap 4)	13
	Bepaling volume en gemiddelde daling	13
	Onzekerheid analytisch gemodelleerde bodemdaling (alle velden behalve Ameland).....	14
	Bodemdalingsvolume voor bepaling belasting rapportagejaar 2009 met onzekerheid	17
	Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting.....	19
2.5.	Indien nodig aanpassen productie (stap 5)	21
2.6.	Actualiseren (stap 6)	22
	Bodemdaling GPS locaties op Moddergat en Ameland	23
3.	Kwaliteitsborging.	26
4.	Conclusies.....	27
5.	Referenties	29
6.	Bijlage 1. Gemodelleerde en gemeten bodemdaling 2009.....	31
7.	Bijlage 2. Bewerking stabiliteitsonderzoek	33

1. Inleiding

In 2009 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. Een figuur met de contouren van de gemodelleerde bodemdaling door gaswinning in combinatie met de op peilmerken uit hoogteverschilmetingen berekende bodemdaling zoals gerapporteerd in het meetregister 2009 Noord Nederland voor het rapportagejaar 2009 (*Figuur 2.2*).
2. Tabellen met de jaarlijkse toename van het bodemdalingsvolume (inclusief onzekerheid) per voorkomen per kombergingsgebied voor de jaren 2007 t/m 2012 (*Tabel 2.4 & Tabel 2.5*).
3. Een tabel met de bodemdalingssnelheid (per jaar; S) en belasting (gemiddelde bodemdalingssnelheid per 6 jaar; B) per kombergingsgebied (Zoutkamperlaag en Pinkegat) tot 2040 (*Tabel 2.7*).
De gerapporteerde belasting B voor een bepaald jaar wordt berekend voor de situatie op 1 januari van dat jaar. Voor de rapportage in 2010 (over het jaar 2009) wordt op deze manier een B voor 1 januari 2010 berekend. In het winningsplan werd als datum 31 december 2009 gebruikt. Deze dag verschil heeft uiteraard geen gevolgen voor de prognose, maar alleen voor de rapportage.
4. Grafieken met de bodemdalingsbelasting voor de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag vanaf start productie op de locatie Moddergat tot 2040 (*Figuur 2.7 & Figuur 2.8*).
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 & Tabel 2.2*).
 - Geplande productie per voorkomen (jaarprofiel; *Tabel 2.8*).
6. Gemeten en geprognosticeerde bodemdaling op de permanente GPS locaties (Moddergat, Ameland en Anjum), inclusief onzekerheid (*Figuur 2.9, Figuur 2.10 & Figuur 2.11*).

De totale cumulatieve gasproductie is in lijn met het totale toegestane productie volume volgens het winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Voor de Ameland voorkomens is de gemodelleerde bodemdaling ten gevolge van de gasproductie berekend met het bodemdalingmodel dat ook voor het Winningsplan (2003) voor Ameland is gebruikt. De metingen van de bodemdaling in de Waddenzee geven aan dat de gemeten bodemdaling aanzienlijk minder is dan de voorspelde bodemdaling ondanks een overschrijding van het voor het WP gemodelleerde productieprofiel.

2. Meet- en Regelcyclus Rapportage

Op basis van verzamelde data uit 2009 is opnieuw een Meet- en regelcyclus doorlopen. Bij de uitvoering van deze Meet- en regelcyclus worden de volgende 6 deelprocessen uitgevoerd: 1. meten, 2. analyseren meetgegevens, 3. verifiëren prognose, 4. berekenen volume en gemiddelde daling, 5. indien nodig aanpassen productie en 6. actualiseren. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van deze 6 deelprocessen voor het rapportagejaar 2009.

2.1. Meten (stap 1)

Vlakdekkende metingen.

Op basis van het in 2008 ingediende meetplan Waddenzee zijn in 2009 optische waterpasmetingen op de Waddeneilanden Ameland en Schiermonnikoog uitgevoerd. Aanvullend zijn GPS metingen en aansluitingswaterpassingen voor 52 hoogtemerken in de Waddenzee en het Lauwersmeer uitgevoerd. De resultaten van de waterpasmetingen zijn in november 2009 in de meetregisters Ameland en Schiermonnikoog aan SodM gerapporteerd (Referentie 11 en Referentie 12). De gecombineerde GPS en waterpasmetingen op het Wad zijn in de Referentie 13 en Referentie 14 beschreven. De resultaten van de permanente GPS metingen zijn maandelijks aan SodM gerapporteerd.

De meetresultaten voor 2009 zijn beschreven in referenties 11 t/m 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 2009.

Velden	Datum	Cumulatieve productie (10 ⁶ m ³)	Druk op reservoir niveau (bara)
Nes	8/5/2009	970	518,9
Moddergat	7/5/2009	824	435,9
Lauwersoog-Oost	4/6/2009	135	421,0
Lauwersoog-West	13/5/2009	194	298,3
Vierhuizen-Oost	11/9/2009	380	308,6

Tabel 2.1 Resultaten reservoir drukmeting 2009 met cumulatieve productie op tijdstip van de meting.

Velden	Cumulatieve productie (10 ⁶ m ³)	Productie volgens winningsplan (10 ⁶ m ³)
Nes	1365	788
Moddergat	1147	1488
Lauwersoog-C	-	-
Lauwersoog-West	385	568
Lauwersoog-Oost	313	599
Vierhuizen-Oost	446	395
Totaal	3656	3798

Tabel 2.2 Cumulatieve productie per voorkomen op 31/12/2009

2.2. Analyseren meetgegevens (stap 2)

Kwaliteitscontrole en bodemdalingsberekening

De analyse en kwaliteitscontrole van de waterpasmetingen Ameland en Schiermonnikoog wordt conform de door RWS-DID en Staatstoezicht op de Mijnen gestelde eisen vereffend volgens een vrije netwerkvereffening (Referentie 16 & Referentie 17). Voor iedere meetcampagne wordt deze berekening uitgevoerd met het programma Move3 van Grontmij B.V. (Referentie 20). Het resultaat van deze vereffening is een set consistente hoogtes inclusief kwaliteitsparameters per epoche, waaruit de differentiestaat wordt berekend.

De GPS metingen zijn volgens de in Referentie 13 beschreven GNSMART methodiek geanalyseerd. Hierbij wordt een vijftal permanente stations als vaste (statische) referentie gebruikt. De coördinaten van deze stations zijn voorafgaand aan de 2009 campagne in een aparte analyse over een periode van zes weken bepaald. De lange termijn beweging van deze stations net zo als de invloed van geconstateerde relatieve bewegingen op de hoogten van de monitoringstations is onderzocht in Referentie 19.

Resultaat bodemdalingsanalyse

Waddenzee voorkomens.

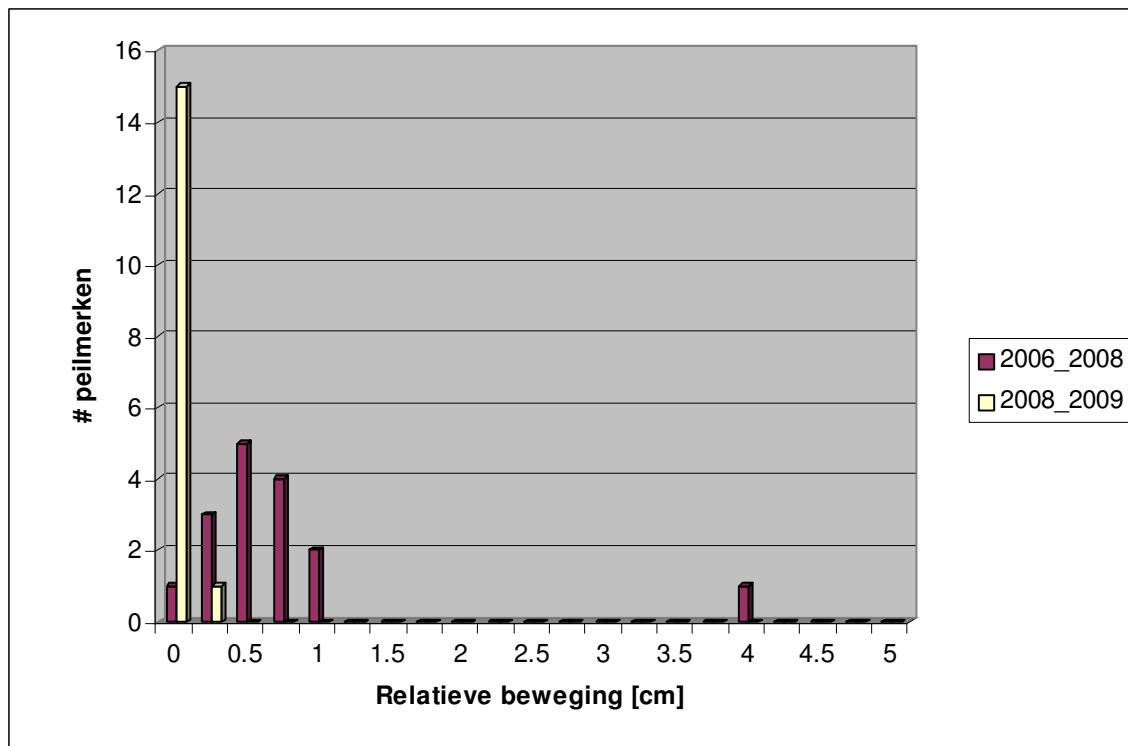
De onder 2.1 genoemde waterpas- en GPS metingen zoals alle historische waterpas- en hydrostatische metingen met directe aansluiting aan het referentiepunt 000A2592 zijn volgens de beschreven Move3 / GNSMART methodieken geanalyseerd en in een staat van periodieke verschillen verzameld (zie *Figuur 2.2* & *Figuur 2.3*, referenties 10,11 en 12). De met GPS bepaalde hoogteverschillen zijn met behulp van het NLGEO2004 geoidmodel van ellipsoidische naar orthometrische hoogteverschillen geconverteerd (Referentie 21). Vanwege het verschil in meetmethode tijdens de nulmeting (waterpassing/hydrostatisch) en de 2009 herhalingsmeting (GPS) staan de peilmerkbewegingen met referentiejaar 1986 (*Figuur 2.2*) gedeeltelijk onder invloed van de onzekerheid van dit geoidmodel. De peilmerkbewegingen uit *Figuur 2.3* hebben hier geen last van, omdat analyse van zowel de nulmeting (2006) als ook de herhalingsmeting (2009) volgens dezelfde methodiek is uitgevoerd.

Voor de interpretatie van *Figuur 2.3* 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, Referentie 10: initiële gemiddelde zetting van de NAM peilmerken van gemiddeld 5mm). Het in 2008 begonnen stabiliteitsonderzoek is op basis van de 2009 metingen voortgezet. De resultaten komen overeen met de verwachtingen uit de 2008 analyse:

- de relatieve stabiliteit van de peilmerken voor de periode 2008-09 is gemiddeld 0.4mm (voor de periode 2006-2008: 5mm, zie *Figuur 2.1*);
- 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, wordt op grond van de lage magnitude van het effect voorgesteld om de initiële peilmerkbeweging op de NAM clusters voor het gemak als een Gaussische (normaalverdeelde) foutenbron te behandelen (met uitzondering van de 4 cm afwijking op M008).



Figuur 2.1 Relatieve beweging van de NAM waddenpeilmerken t.o.v. het meest stabiele peilmerk per cluster voor de periodes 2006 t/m 08 (rood) en 2008 t/m 09 (geel).

Continue GPS metingen

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

Tabel 2.3 geeft de analyse van de continue GPS metingen op de locaties AME, Moddergat en Anjum. De onzekerheden zijn bepaald m.b.v. de methode beschreven in Referentie 14. De bodemdaling in tijd worden in de *Figuur 2.9*, *Figuur 2.10* en *Figuur 2.11* getoond.

Locatie	Absolute daling sinds 05/02/07 t/m 31/12/2009 [mm]	Gem. snelh. vanaf 01/01/09 (1 jaar) [mm/jaar]
Ameland	20	7,1 [$1\sigma = 0.6$ mm/jaar]
Moddergat	5	2,9 [$1\sigma = 0.6$ mm/jaar]
Anjum	12	5,2 [$1\sigma = 0.6$ mm/jaar]

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

2.3. Verifiëren prognose (stap 3)

Kalibratie dynamisch reservoir simulatiemodellen nieuwe Waddenzeevelden

Oorspronkelijk is de dynamische modellering van de nieuwe Waddenzeevelden Nes, Moddergat, Lauwersoog-C, -O en -W en Vierhuizen-O uitgevoerd met behulp van een twee dimensionaal (droog gas) model. Gebruikmakend van het driedimensionale reservoir simulatie model van het analoge gasveld Anjum werd een analytische techniek toegepast om de drukdaling in de aquifers te simuleren. Voor de velden Nes en Moddergat waren reeds meer gedetailleerde drie dimensionale (meurfase) reservoir simulatie modellen geconstrueerd. In 2009 heeft er een herinterpretatie plaatsgevonden van de seismiek en zijn naast bovengenoemde Waddenzeevelden ook voor de velden Anjum en Metslawier nieuwe geologische modellen opgezet. Voor alle velden is nu voldoende productie en druk data beschikbaar om zinvolle gedetailleerde 3 dimensionale dynamische modellen van de reservoirs te genereren en deze te kalibreren. Met uitzondering van Vierhuizen Oost zijn voor alle velden gedetailleerde 3 dimensionale dynamische modellen opgezet. In deze rapportage zijn de resultaten voor Vierhuizen Oost nog gebaseerd op de bestaande Genrem modellen.

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

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

In combinatie met de gemeten data is deze methode gebruikt om uit te zoeken welke combinaties van parameters mogelijk zijn en welke niet. Op basis hiervan zijn een aantal

realisaties gekozen die waarschijnlijk worden geacht en goed overeenkomen met alle meetgegevens. De gebruikte meetgegevens zijn onder andere: dagelijkse gas- en water productie, putmondruk en drukdata op reservoir niveau gemeten tijdens puttesten (SPG en FBU). De putmondruk is gebruikt om de druk op reservoir niveau te berekenen tijdens de productie.

De geconstrueerde 3 dimensionale reservoir simulatie modellen zijn een significante verbetering ten opzichte van voorgaande modellen aangezien hiermee ook de drukdaling van de watervoerende laag beter kan worden gesimuleerd. De zeer goede overeenkomst met de gemeten data geeft vertrouwen dat deze modellen realistisch zijn en een goede basis zijn voor voorspellingen van de reservoirdruk daling die de basis is voor de modellering van opgetreden en toekomstige bodemdaling.

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

Anjum en Metslawier

Een zeer goede overeenkomst tussen de resultaten van het dynamische model met de gemeten data kon worden gemaakt. Vanwege de lange productie geschiedenis resulterend in een uitgebreide hoeveelheid gemeten data is de onzekerheid in de gasvolumes en toegepaste veldparameters relatief klein.

Metslawier is hoogst waarschijnlijk niet in drukcommunicatie met Metslawier Zuid. Drukcommunicatie door de waterhoudende laag kan echter vooralsnog niet worden uitgesloten. Aangezien dit het meeste effect op bodemdaling heeft zijn twee aparte realisaties doorgerekend: met en zonder communicatie.

Nes en Moddergat

Voor Moddergat blijkt dat er alleen een goede overeenkomst met gemeten data gemaakt kan worden door middel van een oost-west breuk die geen of nauwelijks communicatie tussen het noordelijk en zuidelijke blok toestaat. Aangezien het veld Moddergat wordt geproduceerd via het noordelijk blok (via put MGT-1B, Moddergat veld), houdt dit in dat het zuidelijk deel van het veld praktisch niet in druk is gedaald.

De resultaten van het reservoir simulatiemodel van de velden Nes en Moddergat geven zeer goede overeenkomst met de gemeten data. De onzekerheid in gasvolumes van beide gasvelden is relatief klein, de range in gasvolume bedraagt voor Nes $15 - 17,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, voor Moddergat is de range $13,8 - 16,3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Echter aangezien alle realisaties aangeven dat de oost-west breuk in Moddergat niet doorlatend is, is de aangesloten hoeveelheid gas in Moddergat slechts $5,4 - 6,4 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

De permeabiliteit in de waterhoudende laag wordt gezien als de parameter die het meest effect heeft op bodemdaling. Twee mogelijke realisaties zijn doorgerekend: met relatief hoge en lage permeabiliteit resulterend respectievelijk in een sterk en een zwak aquifer voor beide velden. Bij een sterk aquifer is de doorlatendheid van de formatie relatief goed wat resulteert in een grotere drukdaling dan wanneer wordt aangenomen dat de aquifer zwak is.

Lauwersoog -West en -Oost.

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

Ondanks een relatieve korte productie periode is de onzekerheid in de absolute gasvolumes van het veld niet groot. De onzekerheid in vergelijking met de overige dynamische modellen is relatief gezien wel groter.

De gasvolumes in het reservoir worden gezien als de parameters die het meeste effect hebben op bodemdaling. Twee mogelijke realisaties met respectievelijk relatief hoge en lage GIIP worden mogelijk geacht en zijn daarom doorgerekend voor het maken van voorspellingen. Voor Lauwersoog Oost is deze range in gasvolume $4.5 - 5.9 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ en voor Lauwersoog West is de range $1.8 - 2.5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

De productie data toont aan dat de productie capaciteit van de putten van de Lauwersoog velden niet toereikend is om het productievolume, zoals gerapporteerd in het Winningsplan, te produceren. Het tekort aan productievolume van de Lauwersoog velden wordt gecompenseerd door een verhoogde productie van het veld Nes. De totale productie van de nieuwe Waddenzeevelden komt overeen met de totale volumes zoals gerapporteerd in het Winningsplan.

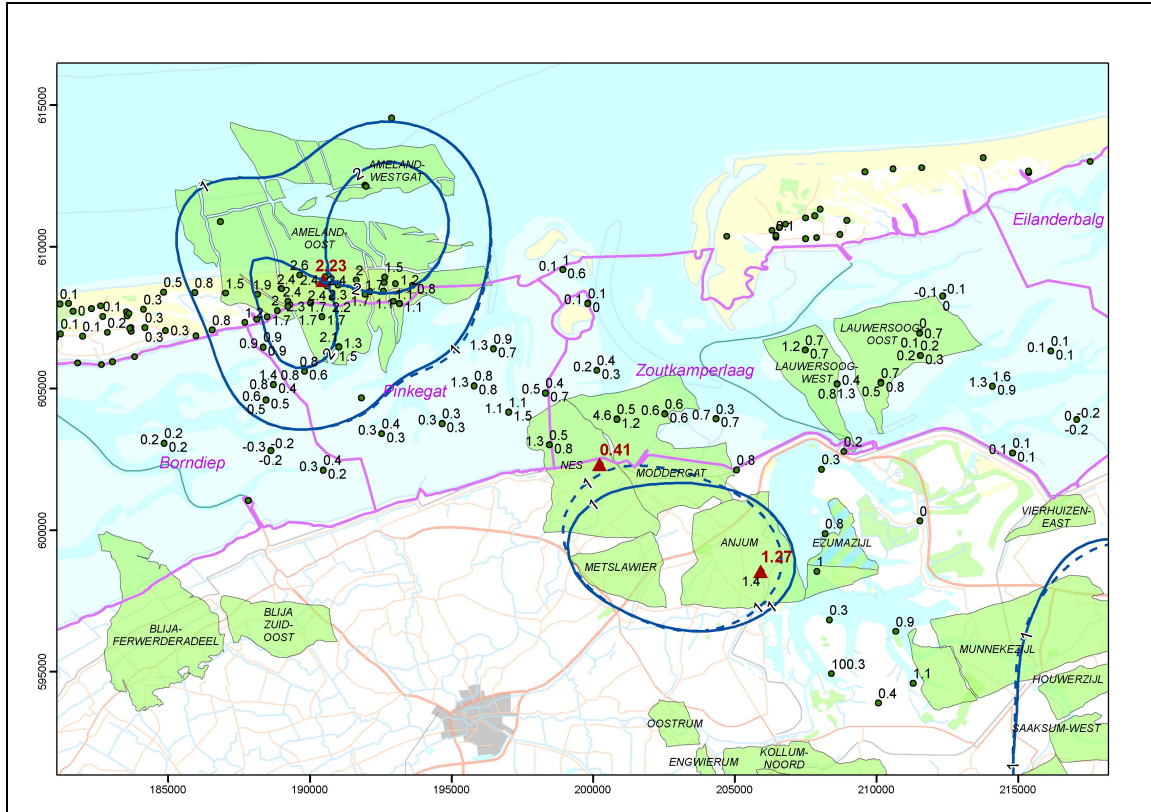
Modellering bodemdaling

De bodemdalingmodellering is gebaseerd op de “Geertsma & van Opstal Rigid Basement” theorie (Referentie 6 & Referentie 7). Modellering met dit analytische model leidt in het algemeen tot een bodemdalingssom die enigszins te wijd is in vergelijking met de gemeten bodemdaling. Dit heeft tot gevolg dat er ten gevolge van de gaswinning uit Anjum en Metslawier te veel bodemdaling wordt gemodelleerd bij Nes en Moddergat. Dit is enigszins ondervangen door de “Rigid Basement” parameter te reduceren van 5000m naar 4000m. Het geomechanische (bodemdaling) model voor Anjum, Metslawier, Nes, Lauwersoog-C, -O en -W is vernieuwd met de parameters van het nieuwe statische (geologische) en dynamische (reservoirsimulatie) model. Kalibratie van het aangepaste geomechanische model met de gemeten bodemdaling sinds de start van de productie in 1997 in Anjum is uitgevoerd. Voor het bepalen van de optimale parameters van het bodemdalingssom zijn ook de metingen in de Waddenzee boven de velden Nes en Moddergat en Lauwersoog-C, -O & -W meegenomen. Voor het gasveld Vierhuizen zal volgend jaar het reservoir simulatie model worden aangepast. Voor dit veld is daarom hetzelfde model gebruikt als voor de rapportage van 2008. Wel zijn uiteraard de reservoirdrukken aangepast, gebaseerd op de reservoir simulatie waarbij het model is gekalibreerd met de gemeten reservoirdruk en gasproductie. Voor de bijdrage aan de totale bodemdaling in het gebied door van de gaswinning van de Ameland gasvelden is uitgegaan van de bodemdalingvoorspellingen zoals gerapporteerd in het Ameland Winningsplan van 2003. Uit de gemeten bodemdaling op peilmerken in de Waddenzee blijkt echter dat ondanks hogere gasproductie volgens het winningsplan er in werkelijkheid minder bodemdaling in de Waddenzee optreedt dan de verwachtingen in het WP 2003 voor Ameland aangaven. NAM is daarom voornemens in het vierde kwartaal dit jaar een voorstel tot wijziging van het Ameland Winningsplan in te dienen waarbij een nieuw geomechanisch model wordt voorgesteld waarmee een betere overeenkomst met de gemeten bodemdaling wordt verkregen en de voorspelling van de bodemdaling zal worden verbeterd. Na instemming van het aangepaste Ameland Winningsplan zal dit nieuwe model voor de Meet- en regelcyclus rapportage over 2010 worden toegepast.

Figuur 2.2 toont de resultaten van de metingen uit 2009 als bodemdaling op de peilmerken in vergelijking met de contouren van de gemodelleerde bodemdaling.

12

Figuur 2.3 toont de gemeten en gemodelleerde daling in 2009 sinds de nulmetingen van 2006. De contouren weergegeven met een doorgetrokken lijn geven de bodemdaling weer die is gemodelleerd met de “nieuwe parameters” terwijl als vergelijking de contouren met de gestreepte lijn de gemodelleerde bodemdaling weergegeven met de “oude parameters” zoals toegepast in de Meet- en regelrapportage van 2008.



Figuur 2.3 Totale bodemdaling door gaswinning in 2009 sinds nulmetingen in 2006. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde geomechanische modellen (gestreepte contouren geven de bodemdaling weer wanneer gemodelleerd met de “oude parameters”). Bodemdaling in cm

Voor de leesbaarheid zijn de *Figuur 2.2* en *Figuur 2.3* in A4 formaat in bijlage 1 getoond.

2.4. Berekenen volume en gemiddelde daling (stap 4)

Bepaling volume en gemiddelde daling

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

Als basis voor de kombergingsgrenzen gelden de GIS bestanden van de grenzen van de kombergingsgebieden, die door RIKZ aan NAM zijn geleverd. Deze grenzen zijn door RIKZ voor de Bodemdalingstudie Waddenzee 2004 toegepast (Referentie 2). Hierbij zijn

de oppervlakten voor respectievelijk de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag $60 \times 10^6 \text{ m}^2$ en $148 \times 10^6 \text{ m}^2$.

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

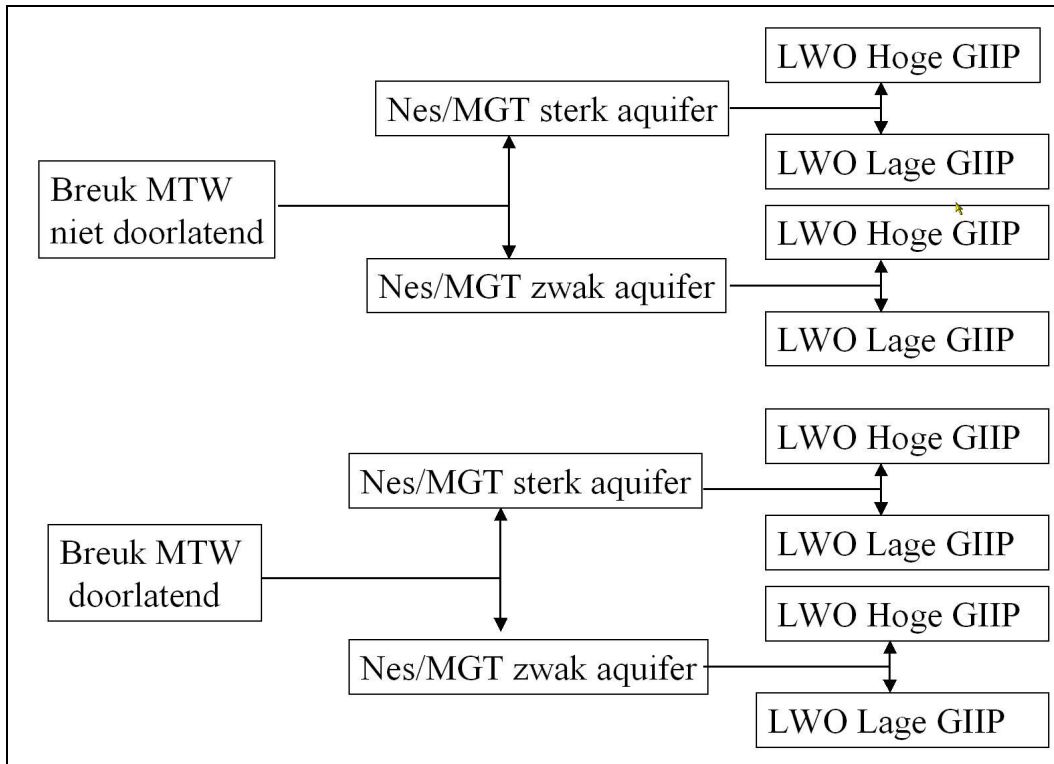
Onzekerheid analytisch gemodelleerde bodemdaling (alle velden behalve Ameland).

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

- Voor Anjum / Metslawier mogelijkheid dat de breuk met Metslawier Zuid wel / niet doorlatend is.
- Voor Nes en Moddergat een sterk / zwak aquifer druk support.
- Voor de velden Lauwersoog-C,-O en -W een hoog / laag initiële gas volume (GIIP).

Voor elk van deze mogelijk reservoirdruk depletie scenario's kon een goede (acceptabele) reservoir simulatie kalibratie worden verkregen met de gemeten reservoirdrukken en gas en water productie sinds de start van de gas productie van de betreffende gasvelden. De beste kalibratie wordt echter verkregen wanneer wordt aangenomen dat de breuk met Metslawier Zuid niet doorlatend is, er in Nes en Moddergat zwakke aquifer druk depletie is en de GIIP in de Lauwersoog gasvelden laag is. De reservoirdruk simulatie van deze combinatie wordt daarom beschouwd als het meest waarschijnlijke (basis) scenario.

Figuur 2.4 Toont een schematisch overzicht van de verschillende reservoirdruk depletie scenario's.



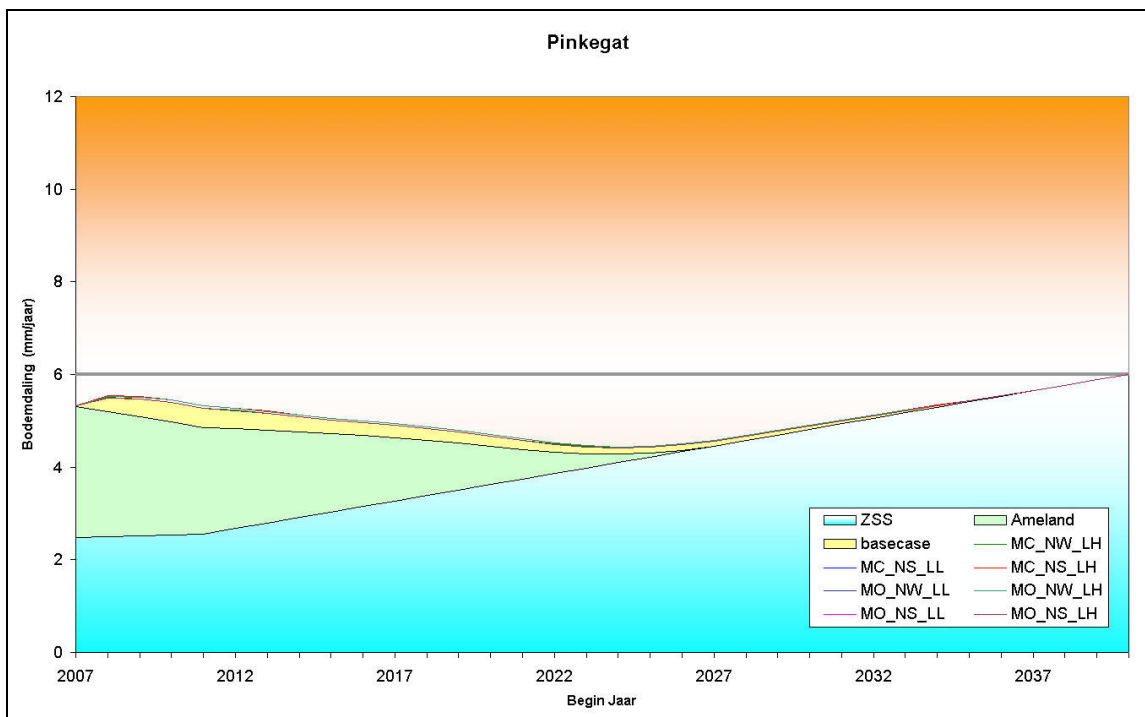
Figuur 2.4 Overzicht van reservoirdruk depletie scenario's

MTW: Metslawier; (Breuk tussen de gasvelden Metslawier en het nog niet ontwikkelde voorkomen Metslawier Zuid)
 Nes / MGT: Velden Nes en Moddergat
 LWO: De velden Lauwersoog-C, -W en -O.

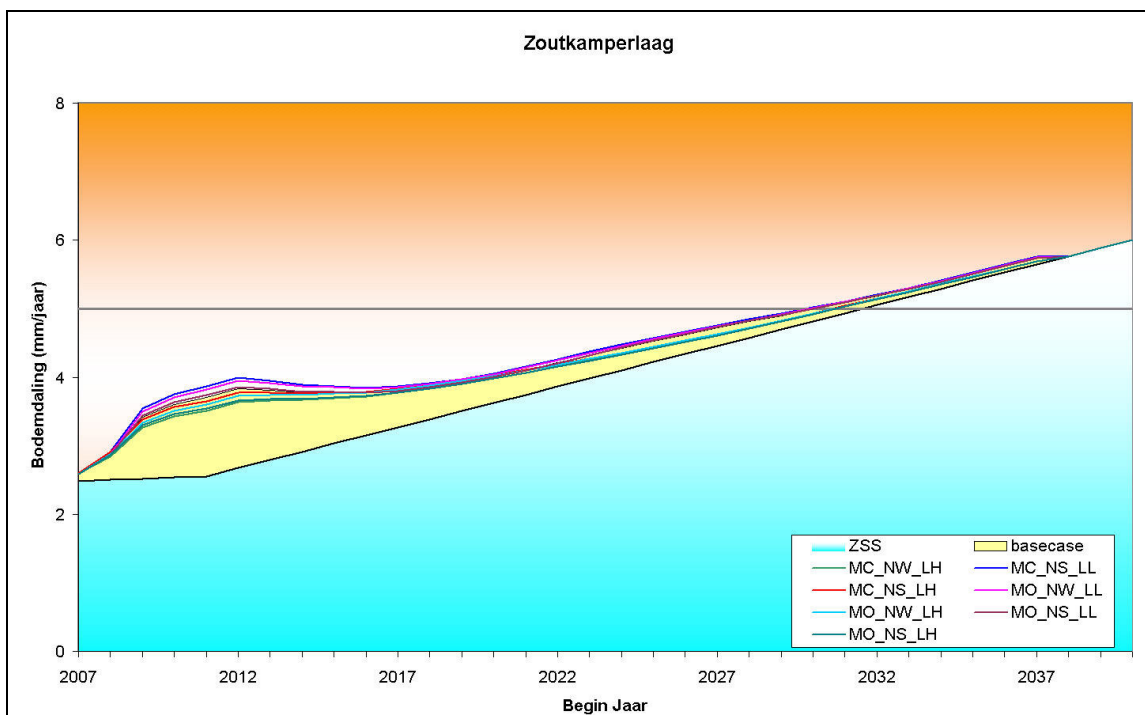
De mogelijke combinatie van reservoir depletie scenario's leidt tot een achttal bodemdaling scenario's. Voor elk van deze scenario's is met behulp van inversie van de gemeten bodemdaling sinds start gas productie het compactie model bepaald voor de gasvelden Anjum, Metslawier, Nes, Moddergat en Lauwersoog-C, -W en -O. Naast de resultaten van het meest waarschijnlijke scenario tonen *Figuur 2.5* en *Figuur 2.6* ook de resultaten van de overige scenario's.

In de legenda van de scenario's in *Figuur 2.5* en *Figuur 2.6*:

MC: breuk tussen de gasvelden Metslawier en Metslawier zuid is niet doorlatend
 MO: breuk tussen de gasvelden Metslawier en Metslawier zuid is doorlatend
 NW: een zwak aquifer voor Nes/Moddergat
 NS: een sterk aquifer voor Nes/Moddergat
 LL: een lage GIIP voor LWO
 LH: een hoge GIIP voor LWO



Figuur 2.5 Voorspelde belasting voor het “meest waarschijnlijke” scenario met overige scenario's voor het kombergingsgebied Pinkegat.



Figuur 2.6 Voorspelde belasting voor het “meest waarschijnlijke” scenario met overige scenario's voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag.

Op basis van de van laboratoriummetingen is de distributie bepaald van mogelijke compactie parameters voor het reservoir gesteente. Deze distributie wordt getoetst aan de bodemdalingmetingen door het verschil tussen de voorwaartse modellering en de metingen plus hun onzekerheid te bepalen. Hiervoor wordt gebruikt gemaakt van een Monte Carlo Markov Chain procedure waarbij de afwijking wordt uitgedrukt in de Root Mean Square (RMS) van de verschillen. De Monte Carlo Markov Chain methode zoekt naar het minimale verschil tussen de realisaties en metingen. De best passende realisatie heeft de laagste RMS. De uiteindelijke onzekerheid (uitgedrukt in de RMS bandbreedte) in mogelijke compactie parameters wordt bepaald door metingen en realisaties te vergelijken. Daarbij wordt gestreefd om een RMS bandbreedte te vinden die alle meetpunten omsluit. Deze procedure is doorgevoerd voor elk van de hiervoor beschreven reservoirdrukdepletie scenario's. Hiermee zijn dus voor elk scenario de best passende compactie parameters bepaald en de waarden die behoren bij het maximum en minimum van de RMS bandbreedte.

Voor de berekening van de verwachte bodemdaling in de toekomst en het bijbehorende volume en bodemdalingssnelheden is uitgegaan van het meest waarschijnlijke reservoirdruk scenario en de best passende (kleinste RMS waarde) compactie parameters. Om de onzekerheid voor de volumes en bodemdalingssnelheden te bepalen is gezocht naar de minimale en maximale waarden voor de volumes in het totaal aan drukscenario's per kombergingsgebied. Deze onzekerheid is gerapporteerd in de tabellen 2.4 t/m 2.7.

Bodemdalingsvolume voor bepaling belasting rapportagejaar 2009 met onzekerheid

Tabel 2.4 en *Tabel 2.5* tonen de door gaswinning veroorzaakte bodemdalingsvolumina met bijbehorende onzekerheid per voorkomen voor de jaren J-3 t/m J+2 waarbij J-1 het rapportagejaar (2009) is. Zoals hierboven vermeld zijn voor het bodemdalingsvolume van de nieuwe velden en reeds producerende velden (exclusief Ameland) de onzekerheden bepaald met behulp van de Monte Carlo simulatie. Uit de sinds 2003 gemeten bodemdaling boven de Ameland velden blijkt, zoals reeds eerder is vastgesteld, dat de prognose van dit WP2003 bodemdalingmodel, ondanks een overschrijding van het voor het winningsplan gemodelleerde productieprofiel, de bodemdaling in de Waddenzee door gasproductie uit de Ameland voorkomens significant overschat. Het bodemdalingsvolume in de Waddenzee, voorspeld met het vigerende bodemdalingmodel WP2003, is daarom beschouwd als een (veilige) bovenwaarde. Voor het kombergingsgebied Pinkegat is daarom geen onzekerheidsinterval gegeven voor het bodemdalingsvolume van de overige velden.

Kombergingsgebied Pinkegat			
Jaar	Overige producerende velden	NES	MGT
	Volume	Volume (onzekerheid)	Volume (onzekerheid)
2007	0.167(0.167 - 0.168)	0.016(0.015 - 0.029)	0.003(0.003 - 0.005)
2008	0.160(0.159 - 0.160)	0.024(0.023 - 0.043)	0.003(0.003 - 0.006)
2009	0.151(0.151 - 0.152)	0.026(0.025 - 0.047)	0.004(0.004 - 0.007)
2010	0.143(0.143 - 0.143)	0.028(0.028 - 0.052)	0.004(0.003 - 0.007)
2011	0.135(0.134 - 0.135)	0.024(0.023 - 0.044)	0.004(0.004 - 0.008)
2012	0.126(0.126 - 0.127)	0.015(0.014 - 0.027)	0.004(0.004 - 0.007)

Tabel 2.4 Jaarlijks bodemdalingsvolume Pinkegat voor de overig producerende velden (producerend voor 2007) en voor de nieuwe velden per voorkomen met tussen haakjes de bandbreedte (onzekerheid). Volumina en bandbreedte (onzekerheid) in miljoen m³.

Kombergingsgebied Zoutkamperlaag							
Jaar	Overige velden	NES	Moddergat	LWO-C	LWO-W	LWO-O	VHZ-O
Volume (onzekerheid)							
2007	0.012(0.003 - 0.021)	0.014(0.013 - 0.025)	0.031(0.03 - 0.062)				
2008	0.012(0.003 - 0.021)	0.021(0.02 - 0.039)	0.032(0.031 - 0.067)		0.013(0.01 - 0.022)	0.006(0.004 - 0.011)	0.016(0.016 - 0.017)
2009	0.008(0.002 - 0.014)	0.023(0.022 - 0.042)	0.042(0.041 - 0.087)		0.062(0.038 - 0.108)	0.072(0.042 - 0.124)	0.017(0.016 - 0.017)
2010	0.007(0.002 - 0.013)	0.025(0.025 - 0.046)	0.041(0.041 - 0.085)	0.003(0.003 - 0.006)	0.049(0.031 - 0.085)	0.079(0.05 - 0.137)	0.015(0.014 - 0.015)
2011	0.007(0.002 - 0.013)	0.021(0.021 - 0.039)	0.047(0.046 - 0.088)	0.001(0.001 - 0.005)	0.035(0.026 - 0.062)	0.06(0.042 - 0.103)	0.008(0.008 - 0.009)
2012	0.007(0.002 - 0.013)	0.013(0.013 - 0.024)	0.046(0.045 - 0.086)	0.002(0.002 - 0.005)	0.041(0.026 - 0.073)	0.049(0.037 - 0.085)	0.008(0.008 - 0.008)

Tabel 2.5 Jaarlijks bodemdalingsvolume Zoutkamperlaag voor de overig producerende velden (producerend voor 2007) en voor de nieuwe velden per voorkomen met tussen haakjes de bandbreedte (onzekerheid). Volumina en bandbreedte (onzekerheid) in miljoen m³.

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

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

Onderstaande Tabel 2.6 geeft de bodemdalingssnelheid S voor het rapportagejaar 2009 en belasting B op 1-1-2010.

Zoutkamperlaag		Pinkegat	
S (onzekerheid)	B (onzekerheid)	S (onzekerheid)	B (onzekerheid)
1.52(1.1 - 2.66)	1.07(0.83 - 1.89)	3.01(2.99 - 3.43)	2.87(2.86 - 3.24)

Tabel 2.6 Bodemdalingssnelheid en belasting (mm/jr) met onzekerheid (bandbreedte) per kombergingsgebied in het rapportagejaar 2009.

Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting

Tabel 2.7 toont de prognose van de bodemdalingssnelheid per kombergingsgebied per jaar (S) ten gevolge van de gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen in combinatie met de bodemdalingssnelheid door de reeds voor 2007 gestarte gaswinning in dit gebied. Ook is de op basis van deze waarden berekende belasting B weergegeven, waarbij $B(J) = (S(J-3) + S(J-2) + \dots + S(J+2)) / 6$.

	Zoutkamperlaag		Pinkegat		Gebruiksruimte G Zoutkamper- laag Pinkegat	
Jaar	S	B	S	B	G	G
2004	0.19(0.06 - 0.31)		3.15(3.13 - 3.16)		2.57	3.57
2005	0.16(0.04 - 0.28)		3.03(3.02 - 3.05)		2.55	3.55
2006	0.10(0.03 - 0.18)		2.91(2.90 - 2.92)		2.53	3.53
2007	0.38(0.32 - 0.73)	0.51(0.35 - 0.89)	3.09(3.07 - 3.36)	3.05(3.03 - 3.24)	2.52	3.52
2008	0.68(0.57 - 1.19)	0.72(0.53 - 1.28)	3.10(3.08 - 3.49)	3.01(2.99 - 3.27)	2.50	3.50
2009	1.52(1.10 - 2.66)	0.90(0.69 - 1.59)	3.01(2.99 - 3.43)	2.96(2.94 - 3.28)	2.48	3.48
2010	1.48(1.12 - 2.61)	1.07(0.83 - 1.89)	2.92(2.90 - 3.38)	2.87(2.86 - 3.24)	2.46	3.46
2011	1.22(0.98 - 2.15)	1.15(0.90 - 2.03)	2.71(2.69 - 3.10)	2.73(2.71 - 3.09)	2.44	3.44
2012	1.13(0.90 - 1.98)	1.16(0.91 - 2.05)	2.42(2.40 - 2.69)	2.56(2.54 - 2.90)	2.33	3.33
2013	0.90(0.73 - 1.61)	1.02(0.81 - 1.81)	2.22(2.21 - 2.46)	2.37(2.36 - 2.68)	2.21	3.21
2014	0.73(0.61 - 1.32)	0.87(0.71 - 1.54)	2.07(2.05 - 2.31)	2.18(2.17 - 2.45)	2.09	3.09
2015	0.66(0.55 - 1.18)	0.74(0.62 - 1.32)	1.91(1.90 - 2.16)	1.99(1.98 - 2.23)	1.97	2.97
2016	0.58(0.50 - 1.02)	0.62(0.54 - 1.11)	1.75(1.74 - 1.99)	1.82(1.80 - 2.05)	1.85	2.85
2017	0.47(0.44 - 0.83)	0.53(0.47 - 0.95)	1.57(1.56 - 1.80)	1.64(1.63 - 1.87)	1.73	2.73
2018	0.39(0.39 - 0.70)	0.47(0.42 - 0.83)	1.38(1.37 - 1.60)	1.46(1.45 - 1.68)	1.61	2.61
2019	0.35(0.35 - 0.64)	0.42(0.38 - 0.74)	1.17(1.16 - 1.38)	1.26(1.25 - 1.47)	1.49	2.49
2020	0.36(0.32 - 0.64)	0.38(0.34 - 0.68)	0.96(0.95 - 1.14)	1.06(1.05 - 1.25)	1.37	2.37
2021	0.36(0.29 - 0.64)	0.36(0.31 - 0.64)	0.74(0.73 - 0.90)	0.84(0.84 - 1.02)	1.26	2.26
2022	0.35(0.26 - 0.62)	0.35(0.28 - 0.61)	0.52(0.51 - 0.66)	0.64(0.63 - 0.79)	1.14	2.14
2023	0.34(0.23 - 0.60)	0.34(0.25 - 0.59)	0.30(0.29 - 0.43)	0.46(0.46 - 0.60)	1.02	2.02
2024	0.32(0.20 - 0.56)	0.32(0.22 - 0.56)	0.13(0.13 - 0.25)	0.32(0.32 - 0.45)	0.90	1.90
2025	0.30(0.18 - 0.51)	0.31(0.19 - 0.52)	0.13(0.12 - 0.24)	0.22(0.21 - 0.33)	0.78	1.78
2026	0.27(0.15 - 0.46)	0.28(0.17 - 0.48)	0.12(0.11 - 0.22)	0.15(0.14 - 0.25)	0.66	1.66
2027	0.25(0.13 - 0.40)	0.26(0.15 - 0.43)	0.11(0.10 - 0.20)	0.11(0.11 - 0.21)	0.54	1.54
2028	0.22(0.11 - 0.35)	0.23(0.13 - 0.38)	0.10(0.09 - 0.18)	0.10(0.10 - 0.19)	0.42	1.42
2029	0.19(0.10 - 0.30)	0.21(0.11 - 0.33)	0.09(0.09 - 0.17)	0.09(0.09 - 0.17)	0.30	1.30
2030	0.16(0.09 - 0.25)	0.18(0.10 - 0.28)	0.08(0.08 - 0.15)	0.08(0.08 - 0.16)	0.19	1.19
2031	0.14(0.09 - 0.21)	0.15(0.09 - 0.24)	0.07(0.07 - 0.13)	0.07(0.07 - 0.14)	0.07	1.07
2032	0.12(0.08 - 0.18)	0.13(0.08 - 0.21)	0.06(0.06 - 0.11)	0.06(0.06 - 0.12)	0	0.95
2033	0.10(0.07 - 0.16)	0.12(0.07 - 0.18)	0.05(0.04 - 0.09)	0.05(0.05 - 0.10)	0	0.83
2034	0.10(0.06 - 0.14)	0.11(0.06 - 0.16)	0.03(0.03 - 0.06)	0.04(0.04 - 0.08)	0	0.71
2035	0.09(0.05 - 0.13)	0.10(0.05 - 0.14)	0.02(0.02 - 0.04)	0.03(0.03 - 0.06)	0	0.59
2036	0.09(0.04 - 0.13)	0.09(0.05 - 0.14)	0.01(0.01 - 0.02)	0.02(0.02 - 0.04)	0	0.47
2037	0.09(0.03 - 0.12)	0.09(0.04 - 0.13)	0.01(0.01 - 0.01)	0.01(0.01 - 0.02)	0	0.35
2038	0.09(0.03 - 0.12)	0.09(0.03 - 0.13)	0.00(0.00-0.00)	0.01(0.01 - 0.01)	0	0.23
2039	0.09(0.02 - 0.12)	0.09(0.03 - 0.13)	0.00(0.00-0.00)	0.00(0.00 - 0.01)	0	0.12
2040	0.09(0.02 - 0.13)	0.09(0.02 - 0.13)	0.00(0.00-0.00)	0.00(0.00-0.00)	0	0.00

Tabel 2.7 bodemdalingssnelheid (onzekerheid), belasting en gebruiksruimte voor de kombergingsgebieden Zoutkamperlaag en Pinkegat (mm/jaar) op basis van het productie profiel volgens tabel 3.8 en inclusief de bodemdalingssnelheid veroorzaakt door de overige producerende velden.

2.5. Indien nodig aanpassen productie (stap 5)

Voor deze rapportage is vastgehouden aan de totale gasproductie volgens het productie scenario van het vigerende winningsplan Moddergat, Lauweroog en Vierhuizen. In verband met de aangepaste gasreserves resulteerde dit in een verhoogde productie voor Nes en een lagere productie voor de Lauwersoog velden.

Tabel 2.8 toont de jaarlijkse productie (miljoen m³) per voorkomen. Totale productie is overeenkomstig het vigerende winningsplan.

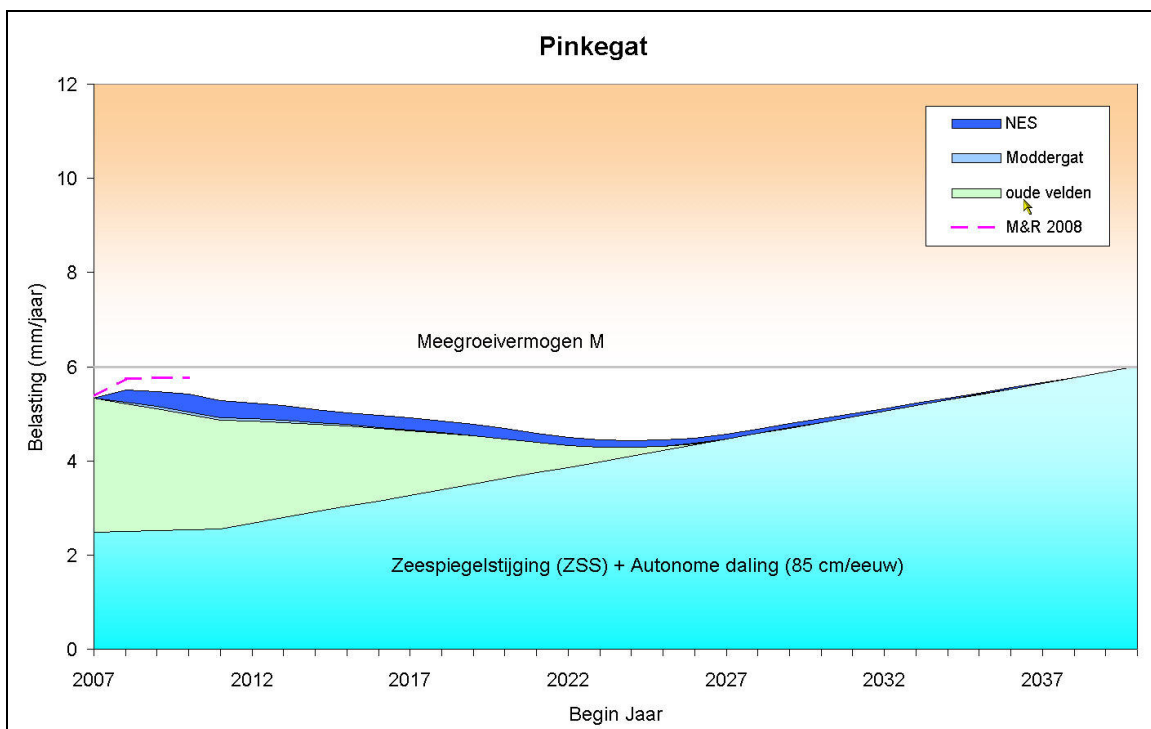
Uit de op basis van dit scenario voorspelde waarden voor de bodemdalingssnelheid S en de resulterende belasting B blijkt dat gasproductie volgens het bijgestelde productiescenario niet zal leiden tot overschrijding van de gebruiksruimte (zie *Tabel 2.7*).

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	-	278
2010	412	558	253	152	26	267
2011	552	487	173	94	2	154
2012	502	289	150	131	16	113
2013	127	306	134	90	3	75
2014	355	297	112	46	2	52
2015	251	364	95	34	0	38
2016	224	324	82	36	0	26
2017	221	399	25	21	0	16
2018	185	337	0	42	0	10
2019	158	258	30	47	15	5
2020	138	256	65	28	22	12
2021	122	236	60	22	4	8
2022	108	226	55	18	1	9
2023	82	210	51	18	-	6
2024	74	180	46	15	-	6
2025	64	158	41	15	-	1
2026	58	154	38	23	-	-
2027	53	173	38	14	-	-
2028	48	135	0	15	-	-
2029	45	110	19	14	-	-
2030	41	104	21	10	-	-
2031	37	93	-	11	-	-
2032	35	78	-	11	-	-
2033	31	60	-	10	-	-
2034	28	53	-	10	-	-
2035	24	44	-	7	-	-
2036	-	-	-	10	-	-
2037	-	-	-	6	-	-

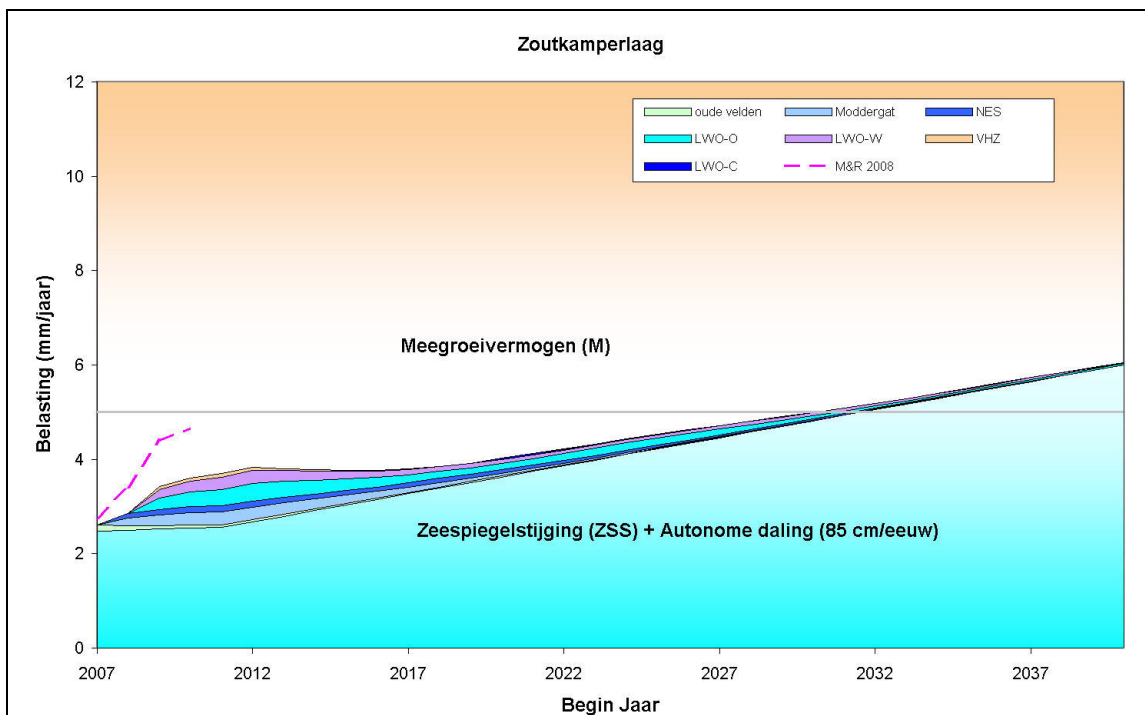
Tabel 2.8 Gerealiseerde (2007 - 2009) en voorgenomen productie (miljoen m³) per voorkomen. Na 2010 is voor de totale productie uitgegaan van het vigerende winningsplan productiescenario.

2.6. Actualiseren (stap 6)

Figuur 2.7 & Figuur 2.8 tonen de geactualiseerde verwachte belastingen voor de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag volgens het in *Tabel 2.8* getoonde productie scenario. De belasting zal inclusief relatieve zeespiegelstijging volgens scenario vastgelegd in hoofdstuk 4.7 van bijlage 3 van het Rijksprojectbesluit het meegroeivermogen van het kombergingsgebied Zoutkamperlaag pas na 2028 overschrijden, het jaar tot waarin is ingestemd met het winningsplan. In de grafieken is steeds de belasting in een bepaald jaar door een veld, dat op 1 januari van dat jaar nog niet in productie is, gelijk aan nul gesteld. Dit is gedaan om presentatietechnische redenen en niet volledig in overeenstemming met de waarden zoals gepresenteerd in *Tabel 2.7*. In de figuren is tevens de belasting zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclus rapportage 2008 (M&R 2008) voor de jaren 2007 en 2008 weergegeven. Met name de reductie van de reservoirdruk depletie in het watervoerende gedeelte van de reservoirs leidde tot een reductie van de belasting.



Figuur 2.7 Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging + autonome daling voor het kombergingsgebied Pinkegat. Voor de modellering van de bodemdaling tengevolge van de gaswinning van Ameland is het geomechanische model (WP2003) toegepast. De rood gestreepte lijn geeft berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage 2008.



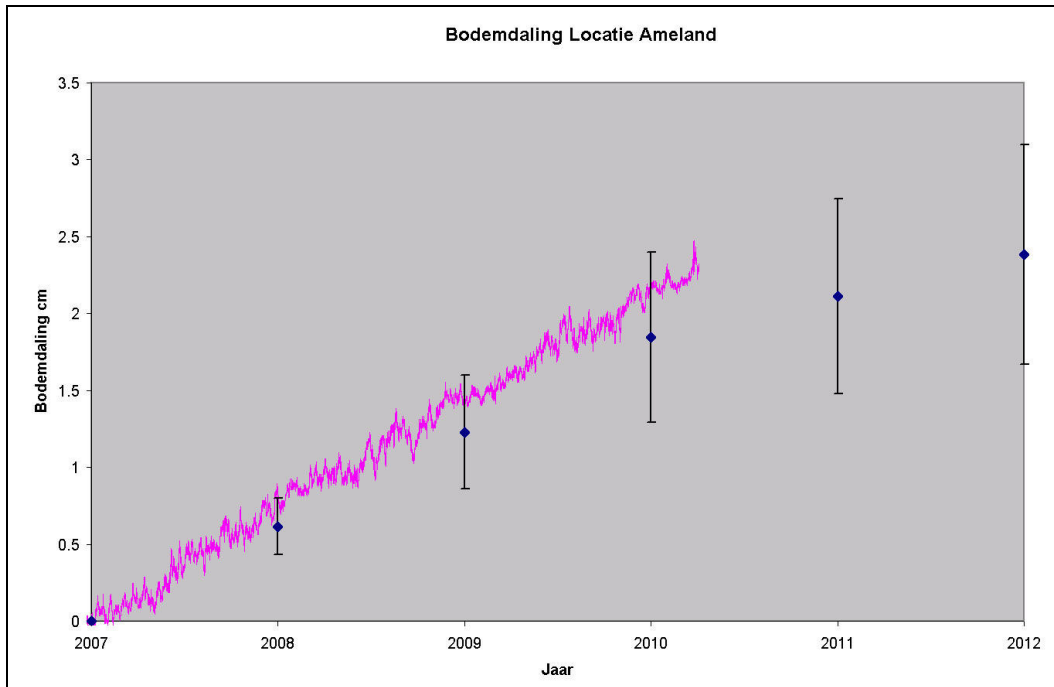
Figuur 2.8 Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging + autonome daling voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag. De rood gestreepte lijn geeft berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage 2008.

Bodemdaling GPS locaties op Moddergat en Ameland

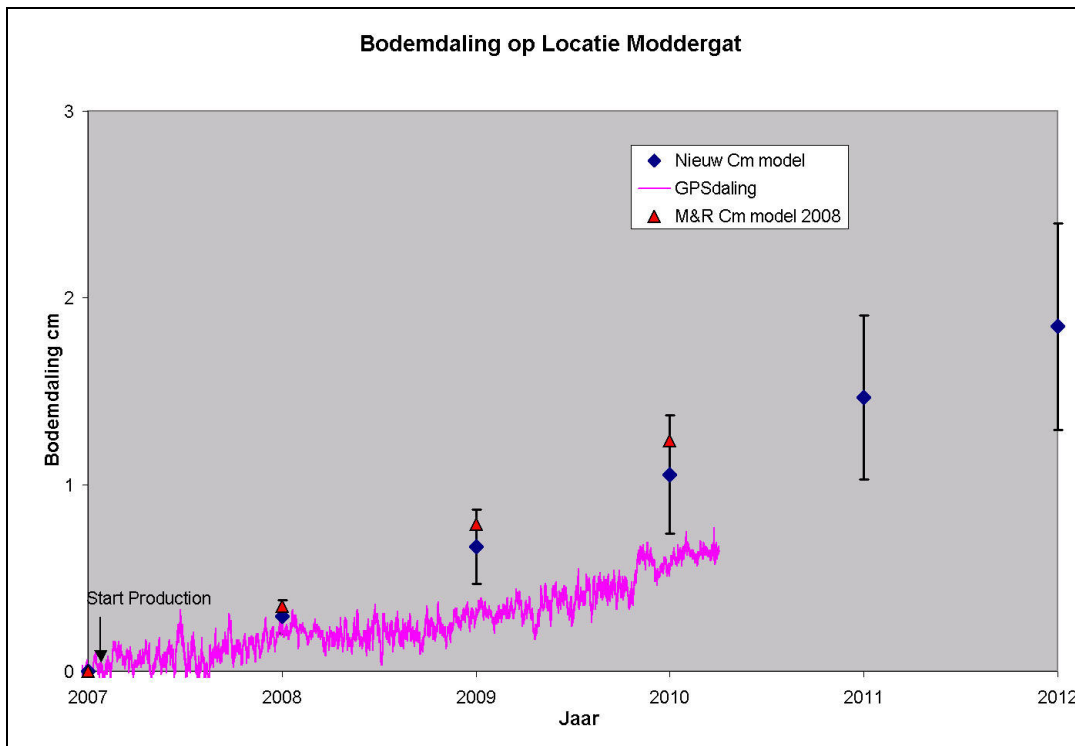
Tabel 2.9 geeft de gemodelleerde bodemdaling op de GPS locaties vanaf begin 2007 tot en met 2011. Dat is het tijdstip waarop de eerstvolgende vlakdekkende metingen zijn gepland, die de volledige bodemdalingskom veroorzaakt door de productie van de locaties Moddergat, Lauwersoog, Vierhuizen en Ameland (zie meetplan Waddenzeegebied 2009) bestrijken. Kalibratie van het geomechanische model is gebaseerd op de kalibratie van de volledige bodemdalingskom. De figuren 2.9, 2.10 en 2.11 geven de geprognosticeerde daling tot en met 2011 plus de gemeten daling vanaf begin 2007 op de GPS locaties grafisch weer.

Datum	Ameland	Moddergat	Anjum
1.1.2007	0	0	0
1.1.2008	0.6 (0.18)	0.29 (0.09)	0.40 (0.12)
1.1.2009	1.2 (0.37)	0.67 (0.20)	0.85 (0.25)
1.1.2010	1.8 (0.55)	1.05 (0.32)	1.18 (0.35)
1.1.2011	2.1 (0.63)	1.47 (0.44)	1.48 (0.44)
1.1.2012	2.4 (0.71)	1.85 (0.55)	1.73 (0.52)

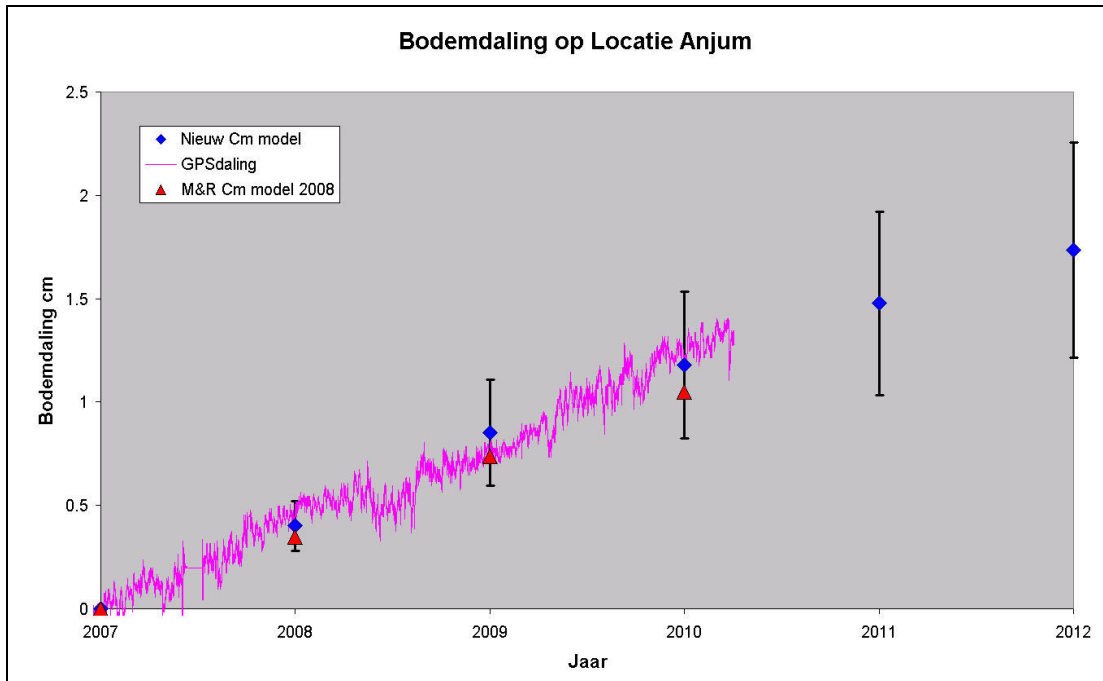
Tabel 2.9 Voorspelde daling t.o.v. 1.1.2007 op de GPS locaties (cm). Onzekerheid (2σ) tussen haakjes.



Figuur 2.9 Voorspelde en gemeten (GPS) bodemdaling locatie Ameland (coördinaten: X-RD:190474.978, Y-RD: 608822.469), met onzekerheid (2σ). Voorspelde daling is uitgevoerd met het Ameland Winningsplanmodel 2003.



Figuur 2.10 Voorspelde en gemeten (GPS) bodemdaling locatie Moddergat (coördinaten: X-RD: 200244.559, Y-RD: 602329.794) met onzekerheid (2σ). De voorspelde bodemdaling m.b.v. de “oude bodemdalingparameters” zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclus rapportage 2008 is aangegeven in rood.



Figuur 2.11 Voorspelde en gemeten bodemdaling (GPS) locatie Anjum (coördinaten: X-RD: 205931.145, Y-RD: 598546.039) met onzekerheid (2σ). De voorspelde bodemdaling m.b.v. de “oude bodemdalingparameters” zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclus rapportage 2008 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 2009 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 2009 in de Asset Land uitgevoerd volgens het geplande schema. Hierbij zijn geen specifieke non-compliances geconstateerd voor de Waddenzee locaties Moddergat/Lauwersoog/Vierhuizen. Begin 2010 is vastgesteld dat de werkelijke productie in 2009 uit de Ameland gasvelden groter is dan de productieprognose volgens het Ameland Winningsplan 2003. In 2010 is een wijziging van dit winningsplan voorzien waarbij het winningsplanproductieprofiel in overeenstemming zal worden gebracht met het actuele Ameland gasproductieprofiel.
Certificatie / externe audits	De 3-jaarlijkse externe ISO 14001 hercertificeringsaudit bij NAM is door BSI Management Systems uitgevoerd in maart 2009. Het certificaat is weer verlengd met 3 jaar (tot maart 2012). Er waren geen non-compliances ten aanzien van de Waddenzee locaties of andere Waddengas winningsactiviteiten.

4. Conclusies.

- Na herinterpretatie van de seismiek zijn de geologische modellen van de gasvelden Anjum, Metslawier, Nes, Moddergat en Lauwersoog-C, -W en -O herzien en aangepast. Gedetailleerde dynamische reservoir simulatie modellen zijn opnieuw gebouwd en met de gemeten gasproductie- en reservoirdruk gegevens gekalibreerd. Voor de velden Anjum en Metslawier resulteerde dit niet in grote aanpassingen, maar voor de overige velden resulteerde dit in een sterk verbeterde reservoir simulatie van de aquifers.
- Op basis van het geproduceerde volume gas in combinatie met de resultaten van de drukmetingen leiden de nieuwe dynamische reservoir simulatie modellen tot een aanpassing van het totale gasvolume van de voorkomens:

Voorkomens	Gas volume Winningsplan (GIIP; 10^9 m^3)	Aangepast volume (GIIP; 10^9 m^3)
Nes	6,02	15,0 – 17,1
Moddergat	6,45	5,4 – 6,4
Lauwersoog-O	3,41	4,5 – 5,9
Lauwersoog-W	2,87	1,8 – 2,5

Voor Moddergat is alleen het aangesloten volume gegeven

- Na aanpassing van het geomechanische model voor bovengenoemde velden is er gekalibreerd met de gemeten bodemdaling sinds start van de productie van het Anjum veld in 1997 voor het gehele gebied, inclusief de metingen in de Waddenzee boven de velden Nes, Moddergat en Lauwersoog-C, -W en -O. Hoewel dit heeft geleid tot een significante aanpassing van het compactiemodel, resulteerde de reductie van de reservoir drukdepletie, met name in de laterale aquifers van de Waddenzeevelden Nes, Moddergat en Lauwersoog-C, -O en -W tot een significant lagere belasting van de bodemdaling ten gevolge van de productie van de nieuwe Waddenzee gasvelden.
- Gebaseerd op geologische en reservoir simulatie analyses zijn, naast de meest waarschijnlijke reservoir depletie realisatie van de gasvelden waarvan de bodemdaling zich uitstrekt tot de kombergingsgebieden Zoutkamperlaag en Pinkegat, ook mogelijke alternatieve reservoir depletie realisaties opgesteld. Combinatie van deze alternatieve reservoir depletie realisaties heeft geleid tot een zevental alternatieve bodemdaling scenario's. De berekende bodemdaling belasting van elk van deze scenario's resulteerde in meer ruimte ten opzichte van de sedimentatie capaciteit van de kombergingsgebieden Zoutkamperlaag en Pinkegat.
- Voor deze Meet- en regelcyclus rapportage is voor de toekomstige productie uitgegaan van de totale productie van de nieuwe Waddenzeevelden Metslawier, Nes, Moddergat Vierhuizen-O en Lauwersoog-C, -W en -O zoals gerapporteerd in het betreffende winningsplan. De capaciteit van de Lauwersoog velden is aanzienlijk lager dan oorspronkelijk verwacht en om de geplande totale productie van de Waddenzee velden, zoals aangegeven in het winningsplan te

halen, is een gedeelte van productie die gepland was voor de Lauwersoog velden geleverd door Nes.

- Voor de modellering van de bodemdaling ten gevolge van de gas productie van de Ameland velden is in de rapportage nog uitgegaan van het geomechanische model WP2003. Uit de sinds 2003 gemeten bodemdaling boven de Ameland velden blijkt, zoals reeds eerder is vastgesteld, dat de prognose van dit WP2003 bodemdalingsmodel, ondanks een overschrijding van het voor het winningsplan gemodelleerde productieprofiel, de bodemdaling in de Waddenzee significant overschat. NAM is voornemens in het vierde kwartaal van dit jaar een wijziging van het Ameland Winningsplan in te dienen waarbij een aangepast geomechanisch model wordt voorgesteld waarmee een betere overeenkomst met de gemeten bodemdaling wordt verkregen en een betere basis geeft voor te verwachte bodemdaling. Na instemming met het gewijzigde Ameland Winningsplan zal het aangepaste model voor de Meet- en regelcyclus rapportage van 2010 worden toegepast.
- De peilmerken van de clusters in de Waddenzee, die in 2006 zijn geïnstalleerd, hebben zich gestabiliseerd.

Slotconclusie:

Met een geplande totale productie, zoals aangegeven in het winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen uit 2006 zal de belasting inclusief relatieve zeespiegelstijging volgens scenario vastgelegd in hoofdstuk 4.7 van bijlage 3 van het Rijksprojectbesluit het meegroeivermogen van het kombergingsgebied Zoutkamperlaag pas na 2028 overschrijden, het jaar tot waarin is ingestemd met het winningsplan. Voor het kombergingsgebied Pinkegat zal dit veel later plaatsvinden.

5. Referenties

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

Referentie 2 Bodemdalingstudie Waddenzee 2004 – Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd. Rapport RIKZ / 2004.025.

Referentie 3 MER Aardgaswinning Waddenzeegebied vanaf locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Nederlandse Aardolie Maatschappij BV. Januari 2006.

Referentie 4 Verzoek om instemming voor winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Nederlandse Aardolie Maatschappij BV. Januari 2006.

Referentie 5 Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, Vastlegging nul situatie, Meetresultaten. Rapport EP200612204999. Nederlandse Aardolie Maatschappij BV. December 2006.

Referentie 6 Geerstma, J., Land subsidence above compacting oil and gas reservoirs, SPE 3730, Trans. 255, 1973.

Referentie 7 Opstal, G. van, The effect subsidence due to reservoir compaction, paper submitted for presentation at 3rd international congress on Rock Mechanics, Denver Colorado.

Referentie 8 Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en Regelcyclus 2006; Rapport EP20612205324, september 2007.

Referentie 9 Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en Regelcyclus 2007; Rapport EP200803216458, 29 april 2008.

Referentie 10 Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en Regelcyclus 2008; Rapport EP200903207091, 28 mei 2009

Referentie 11 Meetregister bij het meetplan Waddenzee 2008. Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing Ameland 2009. Rapport EP200908314223, 10 november 2009.

Referentie 12 Meetregister bij het meetplan Waddenzee 2008. Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing Schiermonnikoog 2009. Rapport EP200909332435, 10 november 2009.

Referentie 13 GPS Survey NAM Waddenzee v. 1.13. 06-GPS B.V., 01/2010.

Referentie 14 Hoogte aansluiting GPS meting Waddenzee 2009. Fugro-Inpark B.V., 03/2010.

Referentie 15 Continue GPS hoogtemetingen AME-1, Moddergat en Anjum. Rapportage Februari 2010. EP201002300873. NAM, 03/2010.

Referentie 16 de Jong, J.W.: Procedureafspraken waterpassingen. Brief aan de NAM, 18 augustus 2005

Referentie 17 Duquesnoy, A.J.H.M.: Wettelijke voorschriften en normering bij de meting van bodembeweging als gevolg van delfstoffenwinning. In: Bodemdaling meten in Nederland – Hoe precies moet het? NCG 39, Delft, 2002.

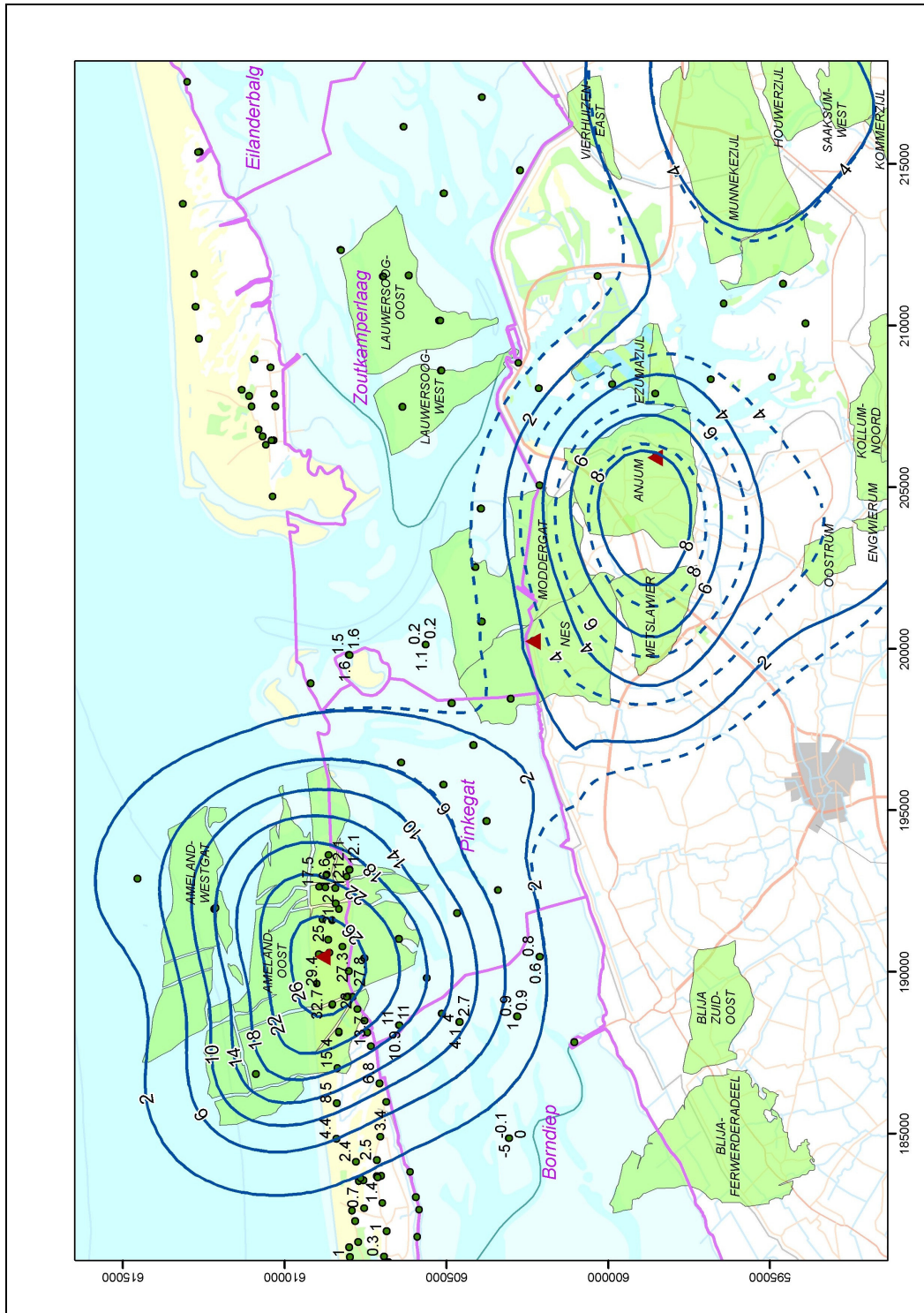
Referentie 18 R. Amiri-Simkooei, C. C. J. M. Tiberius and P. J. G. Teunissen: Assessment of noise in GPS coordinate time series: Methodology and results. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 112, 2007.

Referentie 19 Check reference station coordinates NAM project Waddenzee. 06 GPS B.V., 07/2009.

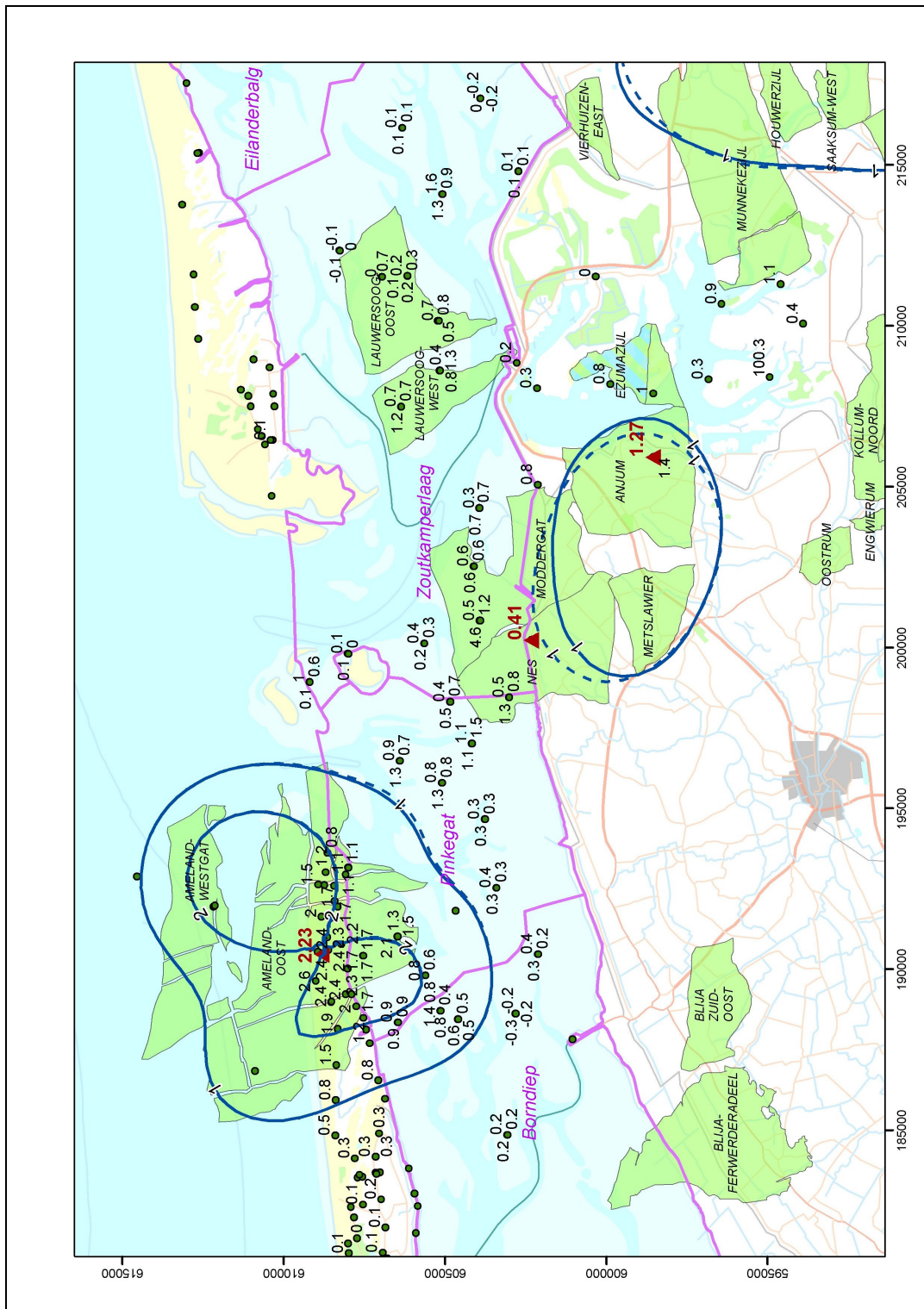
Referentie 20 MOVE3, Grontmij B.V., URL: <http://www.grontmij.nl/site/nl-nl/Diensten/GIS+en+ICT/Softwareproducten/MOVE3.htm>.

Referentie 21 NLGEO2004: het geoïdemodel voor Nederland. Data-ICT-Dienst, Rijkswaterstaat, URL: <http://www.rdnap.nl/algemeen/hoogte/geoide.html>.

6. Bijlage 1. Gemodelleerde en gemeten bodemdaling 2009



Figuur 6.1 Totale gemodelleerde bodemdaling door gaswinning en gemeten bodemdaling op de peilmerken. Voor Ameland is WP2003 model toegepast. (gestreepte contouren geven de bodemdaling weer wanneer gemodelleerd met de “oude parameters”).



Figuur 6.2 Gemodelleerde bodemdaling door gaswinning en gemeten bodemdaling op de peilmerken in 2008 sinds nulmeting 2006. Voor Ameland is WP2003 model toegepast. (gestreepte contouren geven de bodemdaling weer wanneer gemodelleerd met de “oude parameters”).

7. Bijlage 2. Bewerking stabiliteitsonderzoek

Analoog met de in 2008 toegepaste methodiek is op basis van de 2009 waterpassingen de relatieve stabiliteit van de NAM clusters op het Wad bepaald.

De relatieve bewegingen van de twee overige peilmerken t.o.v. het relatief meest stabiele peilmerk per cluster zijn in Tabel 7.1 samengevat. Geconcludeerd kan worden dat de peilmerken van de clusters in de waddenzee, die in 2006 zijn geïnstalleerd, zich hebben gestabiliseerd.

Locatienaam	1te-3de	1te-2de
M001	0.0006	0.0001
M002	0.0009	0.0003
M003	0.0001	0.0000
M004	0.0002	0.0001
M005	0.0003	0.0001
M006	0.0005	0.0003
M007	0.0011	0.0001
M008	0.0018	0.0001
M009	0.0001	0.0001
M010	0.0010	0.0003
M011	0.0001	0.0000
M012	0.0010	0.0000
M013	0.0004	0.0002
M015	0.0002	0.0000

Tabel 7.1 Resultaten bewerking volgorde peilmerk stabiliteit per NAM cluster en berekening relatieve bewegingen t.o.v. het relatief meest stabiele peilmerk voor de periode 2008-2009 (waarden in dimensie [m]).