

**Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en
Vierhuizen**
Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2008

NAM B.V.

<i>EP Document Nummer.:</i>	EP200903207091	<i>Owner:</i>	EPE-T-D
<i>Revision No.:</i>	1		
<i>Document Date:</i>	28 mei 2008	<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.

Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	4
2. Samenvatting	6
3. Deel 1. Meet- en Regelcyclus Rapportage	8
3.1. Meten.....	8
Vlakdekkende metingen.....	8
Reservoir monitoring	8
3.2. Analyseren meetgegevens.....	9
Kwaliteitscontrole en bodemdalingsberekening.....	9
Resultaat bodemdalingsanalyse.....	9
Waddenzee voorkomens.....	9
Continue GPS metingen	10
3.3. Verifiëren prognose.....	10
Kalibratie dynamisch reservoir simulatiemodellen nieuwe Waddenzeevelden..	10
Modellering bodemdaling	11
3.4. Berekenen volume en gemiddelde daling	13
Bepaling volume en gemiddelde daling	13
Onzekerheid analytisch gemodelleerde bodemdaling (alle velden behalve Ameland).	13
Bodemdalingsvolume voor bepaling belasting rapportagejaar 2008 met onzekerheid	15
Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting.....	16
3.5. Indien nodig aanpassen productie	17
3.6. Actualiseren	19
Bodemdaling GPS locaties op Moddergat en Ameland	20
4. Kwaliteitsborging	24
5. Deel 2. Vooruitblik: Toepassing nieuwe inzichten.....	25
5.1 Meten.....	25
5.2 Modellering bodemdaling	26
5.3 Berekeningen volume en gemiddelde daling.....	30
Bepaling volumes en gemiddelde daling	30
Onzekerheid analytisch gemodelleerde bodemdaling (alle velden behalve Ameland).	30
Onzekerheid Ameland bodemdaling	33
Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting.....	34
5.4. Indien nodig aanpassen productie	36
5.5. Actualiseren	37

5. Conclusies.....	40
Referenties.....	42
Bijlage 1. Gemodelleerde en gemeten bodemdaling 2008.....	43
Bijlage 2. Bewerking stabiliteitsonderzoek.....	45

1. Inleiding

Ten behoeve van de gaswinning vanaf de mijnbouwlocaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen heeft de minister van Economische Zaken ingestemd met het winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (kenmerk: ET/EM/6047343 d.d. 26 juni 2006).

Als onderdeel van de voorschriften behorende bij voornoemde winningplan is een Meet- en regelprotocol opgesteld (referentie 1). Rapportagemomenten zijn in dit protocol vastgesteld.

In 2008 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 2008 Noord Nederland voor het rapportagejaar 2008 (figuur 3.1).
2. Tabellen met de jaarlijkse toename van het bodemdalingsvolume (inclusief onzekerheid) per voorkomen per kombergingsgebied voor de jaren 2006 t/m 2011 (Tabel 3.5 en 3.6).
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 3.8).
De gerapporteerde belasting B voor een bepaald jaar wordt berekend voor de situatie op 1 januari van dat jaar. Voor de rapportage in 2009 (over het jaar 2008) wordt op deze manier een B voor 1 januari 2009 berekend. In het winningsplan werd als datum 31 december 2008 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 (Figuren 3.3 en 3.4) .
5. Voor de voorkomens in het winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen:
 - Drukdata per put op reservoirniveau en productie data van het rapportagejaar (tabel 3.1 en 3.2).
 - Geplande productie per voorkomen (jaarprofiel; tabel 3.9).
6. Gemeten en geprognoseerde bodemdaling op de permanente GPS locaties (Moddergat, Ameland en Anjum), inclusief onzekerheid (Figuren 3.5, 3.6 en 3.7).

Voor de rapportage (deel 1 van dit rapport) is voor de Waddenzee velden, producerend van de mijnbouwlocaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, uitgegaan van het oorspronkelijk winningsplan productie profiel. De modellering van de bodemdaling ten gevolge van de gasproductie van de Ameland voorkomens is in deze rapportage (deel 1) uitgevoerd met het bodemdalingsmodel dat identiek is aan het oorspronkelijk in het in 2003 ingediende winningsplan voor Ameland.

Naast deel 1 van de rapportage bevat deze Meet- en regelcyclus rapportage 2008 een tweede gedeelte, waarin een doorkijk wordt gegeven naar de (voorlopige) resultaten van de activiteiten die in het kader van de Meet- en regelcyclus in 2009 worden uitgevoerd en die in meer detail in de rapportage over 2009 zullen worden opgenomen. Het voornemen is om de totale productie van de mijnbouwlocaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen te optimaliseren, gebruikmakend van de beschikbare gebruiksruijnte in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag. Voor Ameland wordt in deel 2 van deze rapportage voor de modellering van de bodemdaling het alternatieve geomechanisch model toegepast waarmee een betere kalibratie met de gemeten bodemdaling wordt verkregen.

2. 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 winningplan 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 pas 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 2008 iets minder dan het geplande volume dat in het bovengenoemde winningsplan is vermeld.

Als onderdeel van de waterpas campagne van 2008 in Noord Nederland zijn boven de velden Nes en Moddergat en in het Anjum-Munnekezijl gebied waterpasmetingen uitgevoerd.

Daarnaast zijn in de Waddenzee rond het centrum van de geprognosticeerde bodemdalingsskom vanwege de productie van de velden Moddergat en Nes, op drie locaties GPS metingen uitgevoerd.

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 2008 voortgezet.

Voor de velden Nes en Moddergat zijn in 2008 meer gedetailleerde dynamische reservoir simulatie modellen gemaakt, die zijn gekalibreerd met de gemeten gasproductie- en reservoirdrukgegevens. Deze modellen resulteren met name in een meer gedetailleerdere modellering van de drukdaling in de aquifers. Vanwege de korte productie historie en dus zeer beperkte data voor kalibratie van de dynamische modellen zijn voor de velden Lauwersoog-Oost en -West de oorspronkelijk modellen gebruikt. De initiële productie en drukdata van de velden Lauwersoog–Oost en –West geven aan dat de aangesloten gasreserves en productie capaciteit van de putten mogelijk minder is dan oorspronkelijk aangenomen. Om de geplande totale productie van de Waddenzee velden, zoals aangegeven in het winningsplan uit 2006, in 2009 te halen, zal daarom een gedeelte van de productie, die gepland was voor de Lauwersoog velden, worden geproduceerd door de velden Nes en Moddergat. Uitgebreide productie testen van de twee Lauwersoog velden, gepland in Q2 2009, zullen uitslag moeten geven over de aangesloten gasreserves en of de put capaciteiten kunnen worden verhoogd door middel van stimulaties. Vooralsnog wordt voor de Lauwersoog velden in deze rapportage uitgegaan van de oorspronkelijke gas volumes en productie zoals aangegeven in het bovenvermelde winningsplan.

Naar aanleiding van de herevaluatie van de gasvoorkomens Moddergat en Nes, waarbij ook de gemeten gasproductie- en reservoirdrukgegevens zijn betrokken, concluderen wij dat de oorspronkelijk in de voorkomens aanwezige gasvolumes, die zijn aangegeven in het bovenvermelde winningsplan, bijstelling behoeven. Het gasvoorkomen Moddergat kleiner en het gasvoorkomen Nes is groter dan eerder aangenomen in het winningsplan. De NAM verwacht dat de totale gasreserves van

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

Moddergat en Nes gecombineerd circa 10 mrd m³ groter zijn dan aanvankelijk in het winningsplan werd aangenomen.

Op de locatie Moddergat is tot en met 2008 met behulp van continue GPS metingen een bodemdaling van minder dan 3 mm vastgesteld. Dit is minder dan op basis van de prognose verwacht werd en bevestigt de stelling dat de bodemdaling “zeer veilig” is gemodelleerd. Gezien de vooralsnog beperkte hoeveelheid meetgegevens en in afwachting van de resultaten van nieuwe vlakdekkende bodemdalingmetingen die volgens het meetplan in 2009 in de Waddenzee zullen worden uitgevoerd, is bij berekening van de nog te verwachten bodemdaling met behulp van de geo-mechanische modellen vastgehouden aan de bestaande “veilige” modelparameters.

Indien de gasreserves in een voorkomen groter zijn, leidt dit bij gelijkblijvend productieprofiel tot een lagere bodemdalingssnelheid. Bij de toepassing van het hand aan de kraan principe ontstaat dan dus meer ruimte voor productie. Voor de rapportage (deel 1) is voor de nieuwe Waddenzee velden, producerend van de mijnbouwlocaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, echter uitgegaan van het oorspronkelijk winningsplan productie profiel. Vooruitlopend op een eind 2009 in te dienen verzoek om instemming tot wijziging op het vigerende winningsplan worden in deel 2 van deze rapportage de resultaten getoond waarbij, gebruikmakend van de beschikbare gebruikruimte, de productie wordt geoptimaliseerd. Hierbij zijn alternatieve scenario's doorgerekend met betrekking tot gesteentesterkte en de te verwachten drukdaling in met name de aquifers. Evaluatie van deze verschillende scenario's toont aan dat het scenario waarvan wordt uitgegaan in deel 1 resulteert in een veilige modellering van de bodemdaling. Veilig wil in dit verband zeggen dat de met deze parameters modelmatig berekende bodemdaling groter is dan in de meeste andere scenario's waarin statistisch meer waarschijnlijke parameterwaarden en drukdaling profielen worden gebruikt. Er wordt steeds voor deze “veilige” benadering gekozen om zeker te stellen dat in de begin fase, waarin de onzekerheid in modelparameters het grootst is, het meegroeivermogen van de kombergingsgebieden niet wordt overschreden. Bij een langere productie historie zullen de reservoir simulatie parameters na kalibratie met productie en reservoir drukmetingen met een grotere nauwkeurigheid kunnen worden bepaald, wat het scala aan mogelijke depletie scenario's zal beperken.

Voor modellering van de bodemdaling veroorzaakt door de gasproductie van de Ameland voorkomens wordt het geomechanische bodemdalingsmodel volgens het winningsplan 2003 (WP2003) gebruikt voor deel 1 van deze rapportage van de Meet- en regelcyclus. Uit de sinds 2003 gemeten bodemdaling boven de Ameland velden blijkt, zoals reeds eerder is vastgesteld, dat de prognose van dit WP2003 bodemdalingsmodel de bodemdaling in de Waddenzee door gasproductie uit de Ameland voorkomens significant overschat. NAM hanteert daarom ter vergelijking al geruime tijd ook een alternatief (nieuw) geomechanisch model. In deel 2 van deze rapportage wordt de bodemdaling met behulp van dit alternatieve geomechanisch model gemodelleerd. Zoals in de vorige rapportage werd aangekondigd, is in 2008 de door SodM opgezette toetsingsprocedure voor dit nieuwe model doorlopen. De gunstige resultaten hiervan, zullen in meer detail worden gerapporteerd in het in 2009 in te dienen aangepaste winningsplan voor Ameland.

De voorspelde belastingen (B) van de kombergingsgebieden Zoutkamperlaag en Pinkegat zullen, inclusief de relatieve zeespiegelstijging volgens het scenario vastgelegd in hoofdstuk 4.7 van bijlage 3 van het Rijksproject besluit, zal voor 2028, het jaar tot waarin is ingestemd met het winningsplan, het gestelde meegroeivermogen van de kombergingsgebieden niet overschrijden (zie figuren 3.3 en 3.4). Ook bij optimalisatie van de productie zoals beschreven in deel 2 van deze rapportage zal de voorspelde belasting het meegroeivermogen niet voor 2028 overschrijden (zie figuren 5.5 en 5.6).

3. Deel 1. Meet- en Regelcyclus Rapportage

In 2008 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 2008.

3.1. Meten

Vlakdekkende metingen.

Op basis van de in 2007 ingediende meetplannen Noord Nederland en Waddenzee zijn in 2008 optische waterpasmetingen op land (rond het Lauwersmeer en op Ameland) en GPS metingen op een 3-tal wadhoogtemerken boven de gasvelden Moddergat en Nes uitgevoerd. De resultaten van de waterpasmeting zijn in april 2009 in het meetregister Noord Nederland en in augustus 2008 in het meetregister Waddenzee aan SodM gerapporteerd (referentie 6 en 12). De waterpasmetingen op Ameland zijn alleen in het uiterste oosten van het eiland uitgevoerd. Aangezien deze metingen niet zijn aangesloten op het referentie peilmerk, zijn de resultaten niet in de betreffende bodemdalingfiguren getoond. In aanvulling op deze metingen hebben continue GPS metingen plaatsgevonden nabij de locaties Ameland, Moddergat en Anjum. De resultaten van deze continue GPS metingen zijn maandelijks aan SodM gerapporteerd.

De meetresultaten voor 2008 zijn beschreven in referenties 6, 9, 10, 11 en 12.

Reservoir monitoring.

Tabel 3.1 toont de cumulatieve gasproductie per voorkomen en de gemeten reservoirdruk bij de put op het tijdstip van de meting. Tabel 3.2 toont de cumulatieve gasproductie per voorkomen op 31 december 2008.

Velden	Datum	Cumulatieve productie (10^6 m^3)	Druk op reservoir niveau (bara)
Nes	4 Sept 2008	648	527
Moddergat	29 Aug 2008	551	476
Lauwersoog-West	19 Nov 2008	26	450
Vierhuizen-Oost	1 Oct 2008	73	405

Tabel 3.1. Resultaten reservoir drukmeting 2008 met cumulatieve productie op tijdstip van de meting.

Velden	Cumulatieve productie (10^6 m^3)	Productie volgens winningsplan (10^6 m^3)
Nes	825	546
Moddergat	694	997
Lauwersoog-C	0	0
Lauwersoog-West	85	122
Lauwersoog-Oost	42	130
Vierhuizen-Oost	168	111
Totaal	1814	1906

Tabel 3.2 Cumulatieve productie per voorkomen op 31/12/2008.

3.2. Analyseren meetgegevens

Kwaliteitscontrole en bodemdalingsberekening

De analyse en kwaliteitscontrole van de waterpasmetingen wordt conform de door RWS-DID en Staatstoezicht op de Mijnen gestelde eisen vereffend volgens een vrije netwerkvereffening (referenties 7 en 8). Voor iedere meetcampagne wordt deze berekening uitgevoerd met het programma Move3 van Grontmij B.V. (referentie 14). Het resultaat van deze vereffening is een set consistente hoogtes inclusief kwaliteitsparameters waaruit de differentiatie staat wordt berekend.

Resultaat bodemdalingsanalyse

Waddenzee voorkomens.

De onder 3.1 genoemde waterpasmetingen en alle historische waterpas- en hydrostatische metingen met directe aansluiting aan het referentiepunt 6B21 zijn volgens de beschreven Move3 methodiek geanalyseerd (referentie 6).

Voor de analyse van de GPS metingen op het Wad werd het referentiejaar 2006 gekozen (nulmeting; start van de winning 2007). De peilmerkbewegingen kunnen dan direct uit de ellipsoidische hoogtes uit 2006 en 2008 berekend worden (zie tabel 3.3).

Peilmerk	Hoogte verschil (cm)	Daling cluster (cm)
G042	0.10	
G043	0.09	
G044	0.11	
		0.1
M008N	4.12*	
M008M	0.14	
M008Z	0.86*	
		0.1
M016N	0.56*	
M016M	0.46*	
M016Z	0.09	
		0.1

Tabel 3.3. Resultaten GPS metingen op wadmerken 2008 (referenties 9 en 10).

*) daling niet consistent met gemeten daling RWS cluster.

De reeds langer bestaande cluster van Rijkswaterstaat (RWS) peilmerken G42/G43/G44 laat op alle drie punten consistent 1mm daling zien over de periode 2006 - 2008. De in 2006 nieuw geplaatste clusters M8 en M16 laten een relatief hoge onderlinge variabiliteit zien. Slechts één van de drie peilmerken per cluster daalt consistent met de RWS cluster G43. Sommige andere peilmerken laten een veel grotere beweging zien (enkele mm tot cm, zie ** in tabel 3.3). Bij de berekening van de gemiddelde beweging per cluster zijn deze peilmerken buiten beschouwing gelaten. De resulterende gemiddelde daling van 1mm is identiek aan de mediaan over de beweging van alle negen peilmerken. De relatief hoge variatie in de peilmerkbeweging van de nieuwe clusters is zeer waarschijnlijk te wijten aan een onvoldoende lange zettingperiode (zes weken) tussen het plaatsen van de peilmerken en de uitvoering van de nulmeting in 2006. Een meetfout is onwaarschijnlijk gezien de hoge consistentie van de aansluitingswaterpassingen voor en na opbouw van de GPS antenne (<0.5mm afwijking; referentie 10).

Inmiddels hebben alle clusters waarschijnlijk een hogere stabiliteit bereikt, maar dit kan pas afdoende onderzocht worden wanneer de resultaten van de meetcampagne 2009 beschikbaar zijn. Intussen heeft NAM in het najaar 2008 de onderlinge hoogteverschillen van alle in 2006 geplaatste clusters gemeten. De voorlopige resultaten van dit lopende stabiliteitsonderzoek zijn in paragraaf 5.1 vermeld.

De integrale differentiestaat vormt de basis voor de verificatie van de bodemdalingsprognose volgens de geomechanische modellen.

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 3.4 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 13. De bodemdaling in tijd worden in de figuren 3.5, 3.6 en 3.7 getoond.

Locatie	Absolute daling sinds 05/02/07 [mm]	Lin. snelh. vanaf 29/02/08 (1 jaar) [mm/jaar]
Ameland	14	6.9 ($1\sigma = 0.6$ mm/jaar)
Moddergat	2	1.4 ($1\sigma = 0.8$ mm/jaar)
Anjum	7	3.3 ($1\sigma = 0.5$ mm/jaar)

Tabel 3.4. Gemeten daling en dalingssnelheid op de locaties.

3.3. Verifiëren prognose

Kalibratie dynamisch reservoir simulatiemodellen nieuwe Waddenzeevelden

Op basis van de gemeten reservoir drukken in 2007 en 2008 zijn zowel voor Nes als voor Moddergat nieuwe inzichten verkregen over de in de ondergrond aanwezige gas volumes. Tezamen met het productie gedrag is nu voldoende data beschikbaar om zinvolle gedetailleerde 3 dimensionale dynamische modellen van de reservoirs te genereren en deze te kalibreren. In deze modellen zijn naast drukdata ook de aanwezige kennis van de productiviteit van het gesteente gebruikt om een goede schatting te maken van de permeabiliteit. Voor Nes is volgens dit model een GIIP (initieel aanwezig gasvolume) van 19.2 mrd m³ de meest waarschijnlijke waarde (Dynamische GIIP) hetgeen binnen de marges valt van de gas volumes bepaald met behulp van de reservoirdruk versus productie grafiek (P/z grafiek). Deze geeft een gas volume aan van 13 tot 23 mrd m³. Het dynamisch volume is hoger dan het huidige met behulp van het geologische model bepaalde volume (Statistische GIIP). Voor Moddergat is het volumetrisch (Statistisch) bepaalde gas volume (GIIP) 4.6 mrd m³, waarvan een gedeelte zich in het zuidelijke compartiment van het voorkomen bevindt. Het met reservoir druk en geproduceerde gas volume gekalibreerde dynamisch model geeft een waarde voor het initieel aanwezige gasvolume voor Moddergat variërend van 3 mrd tot 6 mrd m³, in overeenstemming met de range in waarden verkregen met de P/z grafiek. Uit de drukdata is nog niet te bepalen of het zuidelijke compartiment van het voorkomen in verbinding staat met de rest van het veld en dus ook depleteert of dat het nog op initiële druk is. Als dit deel van het Moddergat voorkomen niet verbonden blijkt te zijn, zal hier in een later stadium een nieuwe productieput worden geboord. Daarom wordt er bij de bodemdalingsprognose van uitgegaan dat de gasvolumes in het zuidelijke compartiment van het Moddergat voorkomen sowieso zullen worden geproduceerd en dat de druk in het reservoir zal dalen.

Het is nog onzeker in hoeverre de depletie van de bovenste lagen van het reservoir, veroorzaakt door de productie, zal leiden tot een verlaging van de druk in de diepere (waterhoudende) lagen. Dit blijft, naast de onzekerheid in de GIIP van de beide voorkomens zoals hierboven aangegeven, één van de belangrijkste onzekerheden bij de huidige prognose.

Voor de voorkomens Lauwersoog en Vierhuizen zijn ten tijde van het uitkomen van dit rapport nog te weinig gegevens bekend om een gedetailleerde reservoir simulatie model op te zetten dat leidt tot een nauwkeurige prognose van de reservoir druk. Daarom worden voor deze voorkomens nog de reeds bestaande 2 dimensionale modellen gebruikt.

Modellering bodemdaling

Uit de continue GPS metingen boven Moddergat en de GPS metingen op de drie peilmerklocaties in de Waddenzee blijkt dat er ten gevolge van de gasproductie van Nes en Moddergat nog nauwelijks meetbare bodemdaling is opgetreden (paragraaf 3.2). Hoewel inversieberekeningen op basis van deze beperkte gemeten bodemdaling aangeven dat de huidige geomechanische modelparameters resulteren in een iets te hoge en daardoor “veilige” gemodelleerde bodemdaling, is kalibratie van modelparameters niet goed mogelijk en zijn de gesteente parameters voor zowel de nieuwe Waddenzee velden als de velden in het Anjum en Munnekeziel gebied niet aangepast en identiek gehouden aan hetgeen is beschreven in de Meet- en regelcyclus rapportage voor 2007.

Figuur 3.1 toont de resultaten van de metingen uit 2008 als punten in vergelijking met de contouren van de gemodelleerde bodemdaling.

Figuur 3.2 toont de gemeten en gemodelleerde daling in 2008 sinds de nulmetingen van 2006.

Voor de leesbaarheid zijn de figuren 3.1 en 3.2 in A4 formaat in bijlage 1 getoond.

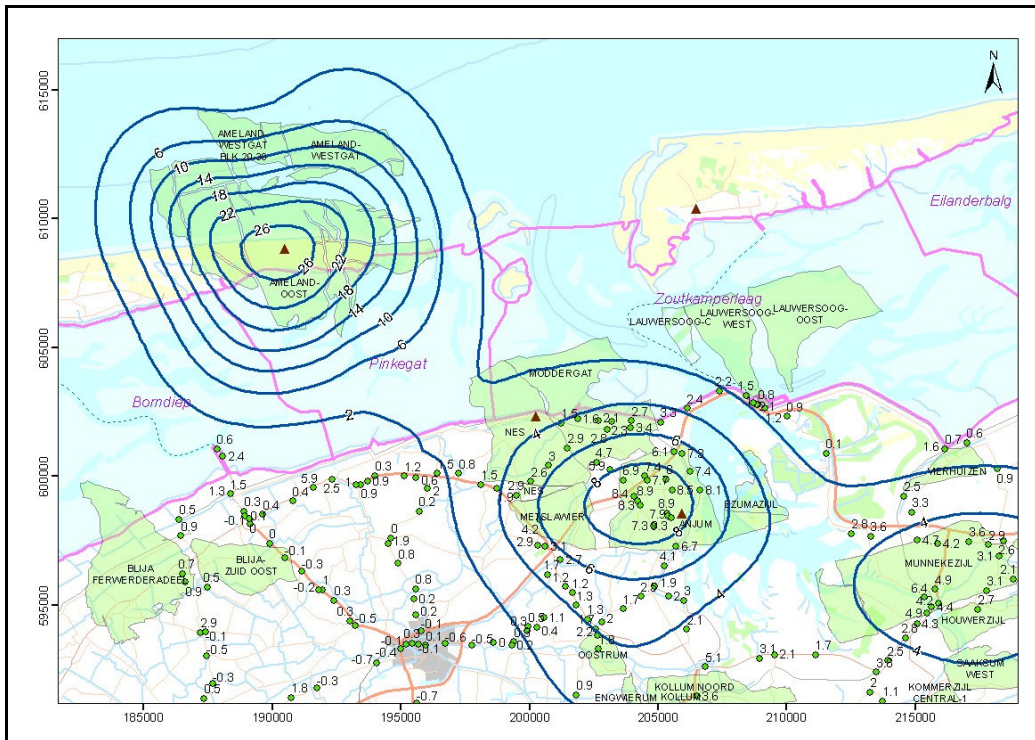


Fig. 3.1 Totale bodemdaling door gaswinning t/m 2008 (sinds start productie). In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling met de geomechanische modellen zoals in 2007 is gerapporteerd. In groen de peilmerken met in 2008 gemeten hoogteverschillen sinds start productie. Boven de gasvelden Ameland-Oost, Nes/Moddergat en Anjum zijn op 3 posities continue GPS metingen uitgevoerd (rode driehoek). Bodemdaling in cm.

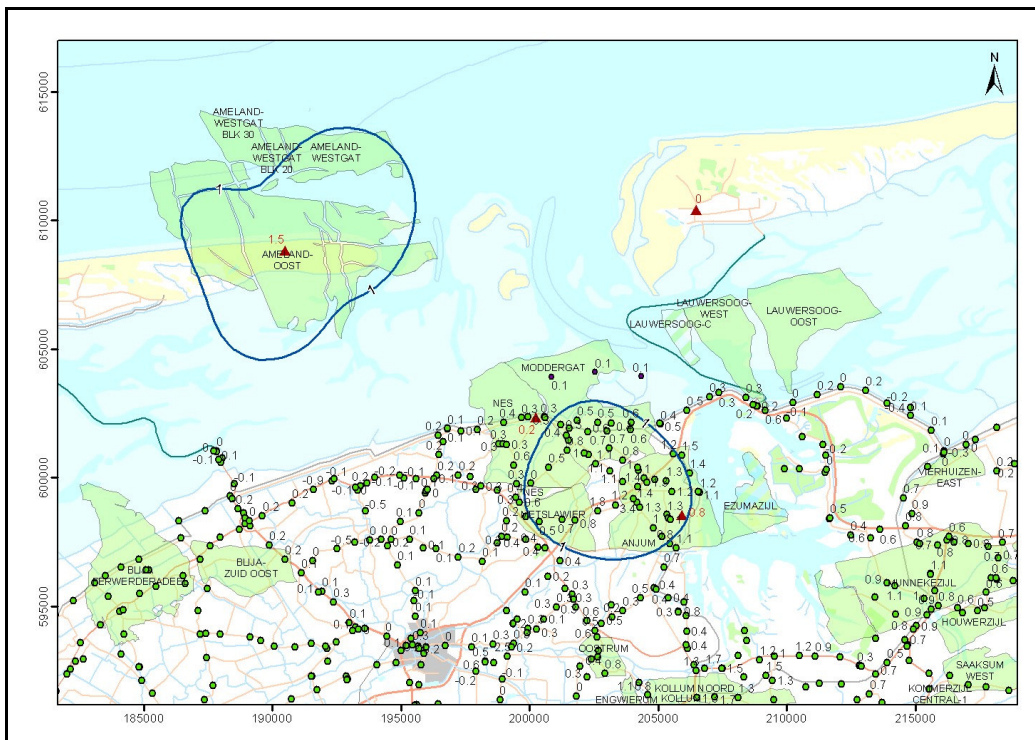


Fig 3.2 Totale bodemdaling door gaswinning in 2008 sinds nulmetingen in 2006. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde geomechanische modellen. Bodemdaling in cm

Zoals beschreven zijn voor de velden Nes en Moddergat nieuwe 3-dimensionale dynamische reservoir simulatie modellen gebouwd, die met name resulteren in een meer gedetailleerde modellering van de drukdaling in de aquifers. Het veld Vierhuizen is in juni 2008 in productie genomen terwijl gasproductie uit de velden Lauwersoog-Oost en -West pas in het vierde kwartaal van 2008 is gestart. Voor deze drie velden zijn de oorspronkelijk dynamische 2-dimensionale reservoir simulatie modellen gebruikt vanwege de korte productiehistorie en dus zeer beperkte mogelijkheid tot kalibratie van de modellen. Het met bovenstaande modellen berekende drukverloop is gebruikt als input voor de geomechanische bodemdalingsmodellen.

3.4. Berekenen volume en gemiddelde daling

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).

Met de informatie die beschikbaar is gekomen in de ca. 2 jaar dat er gas wordt geproduceerd uit de velden Nes en Moddergat was het mogelijk om voor deze velden meer gedetailleerde dynamische reservoir modellen op te zetten. Voor de velden Lauwersoog-Oost en -West en Vierhuizen is vanwege de beperkte productiehistorie nog weinig nieuwe informatie beschikbaar gekomen over het gedrag van reservoir en aquifer en dus zijn daar nog de bestaande eenvoudige dynamische reservoir modellen gebruikt, waarbij de drukdaling in de aquifers is gebaseerd op de ratio drukdaling aquifer/gas van het “analoge” veld Munnekezijl.

Bij de voorspelling van de prognose van de bodemdaling voor met name de nieuwe velden Lauwersoog-Oost en -West en Vierhuizen is door NAM een zekere veiligheid ingebouwd door het toepassen van de volgende aannames:

- De ratio aquifer/gas volume is groter in de nieuwe velden dan in de “analoge” velden. Toch is voor de velden Lauwersoog-Oost en -West de ratio aquifer/gas drukdaling van het “analoge” model gebruikt. Een relatief grotere aquifer zal, bij gelijkblijvende permeabiliteitsdistributie, resulteren in een

langzamere drukdaling. Door echter de ratio aquifer/gas drukdaling van het “analoge” model aan te houden zal de berekende bodemdalingssnelheid naar alle waarschijnlijkheid te hoog zijn.

- De mogelijke aanwezigheid van residueel gas onder het gas/water contact is niet meegenomen in de reservoir drukdaling simulatie. Wanneer dit gas wel aanwezig is, zal dit resulteren in minder drukdaling in de aquifer en dus minder bodemdaling.
- Het toepassen van de “Geertsma en van Opstal” theorie resulteert in het algemeen in een bodemdalingsskom die bij een correcte modellering van het diepste punt in het centrum van de kom iets wijder is dan de werkelijke bodemdalingsskom. Kalibratie / inversie is uitgevoerd met hoogteverschilmetingen op de peilmerken, waarbij vooral werd gekalibreerd op de peilmerken in het centrum van de kom. De omvang van de gemodelleerde kom is daardoor waarschijnlijk iets te groot en dus zal het bodemdalingssvolume in werkelijkheid minder groot zijn dan gemodelleerd.

Om de onzekerheid van de opgetreden en voorspelde bodemdaling – berekend met het geomechanische model – te berekenen is een Monte Carlo methode toegepast. Voor de producerende velden, waardoor reeds bodemdaling is opgetreden, wordt met behulp van de uit hoogteverschilmetingen berekende bodemdaling op de peilmerken en de à priori informatie van reservoir eigenschappen (compactie model, reservoir drukdaling, en dikte van de reservoir formatie waarin drukdaling optreedt) de onzekerheid van de gemodelleerde bodemdaling bepaald. Het programma maakt gebruik van een Monte Carlo simulatie waarbij willekeurig (‘random’) waarden worden getrokken voor de verschillende reservoir eigenschappen binnen de van tevoren bepaalde onzekerheden voor deze reservoir eigenschappen. De acceptatie van de Monte Carlo realisatie hangt af van het verschil tussen de resulterende gemodelleerde en gemeten bodemdaling over tijd (kleinste kwadraten principe, RMS). Alleen de realisaties die binnen de van tevoren vastgestelde RMS vallen, worden meegenomen (referentie 18).

Deze methode is toegepast voor het scenario met bijbehorende “veilige” reservoir parameter aannames. Alleen de realisaties met een $RMS < 1.5$ sigma meting ($= \frac{1}{2} D_{krit}$; Referentie 18) zijn meegenomen. Dit resulteerde in een onzekerheidsbandbreedte van de bodemdalingssnelheid en belasting ten gevolge van de productie van nieuwe velden en reeds producerende velden voor de kombergingsgebieden Zoutkamperlaag en Pinkegat. Deze gerapporteerde bandbreedte weerspiegelt alleen mogelijke variaties van de geomechanische parameters en reservoirdrukken binnen het scenario dat voor deel 1 van deze rapportage is toegepast.

Zoals in sectie 3.3 is beschreven, is ten gevolge van de gasproductie van Nes en Moddergat nog nauwelijks meetbare bodemdaling opgetreden. Daarom zijn voor deze velden nog de zeer “veilige” geomechanische modelparameters aangehouden zoals in de rapportage van 2007 is beschreven. Bedacht moet echter worden dat bij de Monte Carlo methode de bodemdaling wordt gekalibreerd met de gemeten bodemdaling voor het gehele Nes – Moddergat – Anjum gebied. Aangezien de kalibratie hierbij niet is geconcentreerd op het centrum van de kom resulteert dit over het algemeen in realistischere (minder “veilige”) compactie parameters. Dit resulteert in een onzekerheidsrange waarbij de bovengrens vaak gelijk is aan de gemodelleerde bodemdaling waarbij de zeer “veilige” geomechanische modelparameters zijn toegepast.

In deel 2 zijn naast het door rekenen van het scenario waarbij de productie is geoptimaliseerd, alternatieve scenario’s doorerekend met betrekking tot reservoir

parameters in de aquifers, aangepaste gas reserves, productie capaciteit en reservoir compactie parameters. De resultaten laten inderdaad zien dat het gebruikte scenario overeenkomt met een wel zeer “veilige” modellering van de bodemdaling. NAM heeft hier voor gekozen om zeker te stellen dat in de begin fase, waarbij de onzekerheid in modelparameters het grootst is, het meegroeivermogen van de kombergingsgebieden niet wordt overschreden.

Bodemdalingsvolume voor bepaling belasting rapportagejaar 2008 met onzekerheid

Tabellen 3.5 en 3.6 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 (2008) is. Voor het bodemdalingsvolume van de nieuwe velden en reeds producerende velden (exclusief Ameland) zijn de onzekerheden bepaald met behulp van de Monte Carlo methode. Uit de sinds 2003 gemeten bodemdaling boven de Ameland velden blijkt, zoals reeds eerder is vastgesteld, dat de prognose van dit WP2003 bodemdalingsmodel de bodemdaling in de Waddenzee door gasproductie uit de Ameland voorkomens significant overschat. Het bodemdalingsvolume in de Waddenzee, voorspeld met het vigerende bodemdalingsmodel WP2003, is daarom beschouwd als een (veilige) bovenwaarde. NAM hanteert ter vergelijking al geruime tijd ook een alternatief (nieuw) geomechanisch model dat in deel 2 van deze rapportage wordt beschreven. Voor het bepalen van de ondergrens van de onzekerheid in gemodelleerde bodemdaling ten gevolge van de gasproductie van de Ameland voorkomens wordt dit alternatieve model gebruikt. Dit resulteert voor het kombergingsgebied Pinkegat daarom in een grote onzekerheidsrange.

Kombergingsgebied Pinkegat			
Jaar	Oude velden	NES	MGT
	Volume	Volume (onzekerheid)	Volume (onzekerheid)
2006	0.181 (0.071 - 0.181)		
2007	0.182 (0.070 - 0.182)	0.014 (0.011 -0.020)	0.022 (0.017 -0.031)
2008	0.163 (0.067 - 0.163)	0.020 (0.017 -0.031)	0.020 (0.016 -0.029)
2009	0.154 (0.060 - 0.154)	0.022 (0.019 -0.034)	0.025 (0.019 -0.035)
2010	0.146 (0.057 - 0.146)	0.015 (0.013 -0.023)	0.026 (0.020 -0.037)
2011	0.137 (0.056 - 0.138)	0.023 (0.020 -0.036)	0.027 (0.018 -0.032)

Tabel 3.5. Jaarlijks bodemdalingsvolume Pinkegat voor de oude 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	Oude velden	NES	Moddergat	LWO-C	LWO-W	LWO-O	VHZ-O
Volume (onzekerheid)							
2006	0.028 (0.025-0.045)						
2007	0.038 (0.009-0.038)	0.010 (0.009-0.012)	0.128 (0.123-0.170)				
2008	0.030 (0.011-0.038)	0.015 (0.014-0.019)	0.124 (0.119-0.165)		0.029 (0.027-0.029)	0.012 (0.011-0.012)	0.022 (0.021-0.022)
2009	0.024 (0.008-0.028)	0.016 (0.016-0.022)	0.144 (0.140-0.193)		0.109 (0.103-0.110)	0.163 (0.155-0.165)	0.024 (0.023-0.024)
2010	0.017 (0.007-0.026)	0.011 (0.011-0.015)	0.152 (0.147-0.203)		0.079 (0.075-0.080)	0.104 (0.099-0.105)	0.022 (0.021-0.022)
2011	0.017 (0.007-0.028)	0.017 (0.016-0.022)	0.147 (0.127-0.176)		0.065 (0.062-0.066)	0.093 (0.088-0.093)	0.013 (0.012-0.013)

Tabel 3.6. Jaarlijks bodemdalingsvolume Zoutkamperlaag voor de oude 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 van de bodemdaling ten gevolge van de productie van Ameland op het kombergingsgebied Zoutkamperlaag is minimaal.

Onderstaande tabel 3.7 geeft de bodemdalingssnelheid S voor het rapportagejaar 2008 en belasting B op 1-1-2009.

Zoutkamperlaag		Pinkegat	
S (onzekerheid)	B (onzekerheid)	S (onzekerheid)	B (onzekerheid)
1.56 (1.37 - 1.93)	1.86 (1.64 - 2.13)	3.39 (1.84 - 3.77)	3.27 (1.72 - 3.61)

Tabel 3.7. Bodemdalingssnelheid en belasting (mm/jr) met onzekerheid (bandbreedte) per kombergingsgebied in het rapportagejaar 2008.

Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting

Tabel 3.8 toont de prognose van de bodemdalingssnelheid per kombergingsgebied per jaar (S) ten gevolge van de gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen in combinatie met de bodemdalingssnelheid door de reeds voor 2007 gestarte gaswinning in dit gebied. Ook is de op basis van deze waarden berekende belasting B weergegeven, waarbij $B(J) = (S(J-3) + S(J-2) + \dots + S(J+2)) / 6$.

	Zoutkamperlaag		Pinkegat		Gebruiksruimte G	
					Zoutkamper- laag	Pinkegat
Jaar	S	B	S	B	G	G
2004	0.23 (0.18 - 0.23)		3.17 (1.34 - 3.17)		2.57	3.57
2005	0.21 (0.16 - 0.21)		3.08 (1.26 - 3.08)		2.55	3.55
2006	0.19 (0.17 - 0.19)		3.02 (1.24 - 3.03)		2.53	3.53
2007	1.19 (0.96 - 1.26)	1.11 (0.96 - 1.25)	3.62 (1.98 - 3.94)	3.27 (1.58 - 3.47)	2.52	3.52
2008	1.56 (1.37 - 1.93)	1.50 (1.32 - 1.72)	3.39 (1.84 - 3.77)	3.26 (1.64 - 3.52)	2.50	3.50
2009	3.25 (2.92 - 3.67)	1.86 (1.64 - 2.13)	3.36 (1.82 - 3.80)	3.27 (1.72 - 3.61)	2.48	3.48
2010	2.60 (2.35 - 3.06)	2.14 (1.86 - 2.44)	3.12 (1.67 - 3.52)	3.25 (1.80 - 3.66)	2.46	3.46
2011	2.37 (2.05 - 2.69)	2.20 (1.91 - 2.51)	3.12 (1.80 - 3.58)	3.11 (1.74 - 3.53)	2.44	3.44
2012	1.84 (1.52 - 2.01)	2.19 (1.86 - 2.43)	2.92 (1.70 - 3.33)	2.97 (1.70 - 3.39)	2.33	3.33
2013	1.60 (1.24 - 1.69)	1.88 (1.53 - 2.05)	2.75 (1.64 - 3.16)	2.80 (1.64 - 3.20)	2.21	3.21
2014	1.48 (1.10 - 1.48)	1.65 (1.28 - 1.75)	2.57 (1.57 - 2.95)	2.63 (1.57 - 3.01)	2.09	3.09
2015	1.37 (0.94 - 1.37)	1.44 (1.09 - 1.49)	2.34 (1.44 - 2.65)	2.42 (1.47 - 2.78)	1.97	2.97
2016	1.24 (0.86 - 1.24)	1.29 (0.98 - 1.34)	2.10 (1.30 - 2.40)	2.20 (1.36 - 2.56)	1.85	2.85
2017	1.09 (0.86 - 1.14)	1.23 (0.90 - 1.26)	1.85 (1.18 - 2.20)	1.97 (1.25 - 2.32)	1.73	2.73
2018	0.96 (0.85 - 1.12)	1.13 (0.83 - 1.17)	1.60 (1.07 - 1.99)	1.73 (1.14 - 2.08)	1.61	2.61
2019	1.23 (0.79 - 1.23)	1.03 (0.78 - 1.08)	1.36 (0.98 - 1.73)	1.49 (1.04 - 1.85)	1.50	2.50
2020	0.88 (0.69 - 0.93)	0.94 (0.72 - 0.99)	1.12 (0.91 - 1.49)	1.25 (0.92 - 1.65)	1.38	2.38
2021	0.78 (0.60 - 0.81)	0.86 (0.66 - 0.91)	0.89 (0.81 - 1.31)	1.01 (0.79 - 1.47)	1.26	2.26
2022	0.69 (0.53 - 0.71)	0.79 (0.59 - 0.81)	0.66 (0.59 - 1.20)	0.78 (0.64 - 1.32)	1.14	2.14
2023	0.62 (0.47 - 0.63)	0.67 (0.52 - 0.70)	0.42 (0.36 - 1.12)	0.59 (0.50 - 1.19)	1.02	2.02
2024	0.56 (0.43 - 0.58)	0.61 (0.47 - 0.63)	0.23 (0.18 - 1.05)	0.43 (0.37 - 1.10)	0.90	1.90
2025	0.52 (0.40 - 0.53)	0.55 (0.43 - 0.57)	0.21 (0.16 - 0.99)	0.31 (0.26 - 1.03)	0.78	1.78
2026	0.47 (0.37 - 0.49)	0.50 (0.39 - 0.51)	0.18 (0.14 - 0.94)	0.22 (0.18 - 0.97)	0.67	1.67
2027	0.43 (0.34 - 0.45)	0.45 (0.36 - 0.47)	0.16 (0.12 - 0.88)	0.17 (0.13 - 0.91)	0.55	1.55
2028	0.39 (0.31 - 0.40)	0.40 (0.33 - 0.42)	0.14 (0.11 - 0.82)	0.15 (0.12 - 0.85)	0.43	1.43
2029	0.34 (0.28 - 0.36)	0.35 (0.30 - 0.38)	0.12 (0.10 - 0.77)	0.14 (0.11 - 0.80)	0.31	1.31
2030	0.27 (0.25 - 0.31)	0.30 (0.27 - 0.33)	0.11 (0.09 - 0.71)	0.12 (0.09 - 0.74)	0.19	1.19
2031	0.22 (0.22 - 0.26)	0.26 (0.23 - 0.29)	0.10 (0.08 - 0.66)	0.10 (0.08 - 0.69)	0.07	1.07
2032	0.18 (0.18 - 0.22)	0.21 (0.20 - 0.24)	0.08 (0.07 - 0.60)	0.09 (0.07 - 0.63)	-0.04	0.96
2033	0.14 (0.14 - 0.17)	0.17 (0.16 - 0.20)	0.07 (0.06 - 0.55)	0.07 (0.06 - 0.58)	-0.16	0.84
2034	0.11 (0.11 - 0.13)	0.13 (0.13 - 0.15)	0.05 (0.04 - 0.50)	0.06 (0.05 - 0.53)	-0.28	0.72
2035	0.07 (0.07 - 0.09)	0.10 (0.10 - 0.11)	0.03 (0.03 - 0.45)	0.04 (0.04 - 0.47)	-0.40	0.60
2036	0.05 (0.05 - 0.05)	0.07 (0.07 - 0.08)	0.02 (0.02 - 0.40)	0.03 (0.03 - 0.43)	-0.52	0.48
2037	0.03 (0.02 - 0.03)	0.05 (0.04 - 0.05)	0.01 (0.01 - 0.36)	0.02 (0.02 - 0.38)	-0.64	0.36
2038	0.01 (0.01 - 0.01)	0.03 (0.03 - 0.03)	0.00 (0.00 - 0.32)	0.01 (0.01 - 0.34)	-0.76	0.24
2039	0.01 (0.00 - 0.01)	0.02 (0.01 - 0.02)	0.00 (0.00 - 0.29)	0.00 (0.00 - 0.27)	-0.87	0.13
2040	0.00 (0.00 - 0.01)	0.01 (0.01 - 0.01)	0.00 (0.00 - 0.26)	0.00 (0.00 - 0.20)	-0.99	0.01
2041	0.00 (0.00 - 0.01)	0.00 (0.00 - 0.01)	0.00 (0.00 - 0.00)	0.00 (0.00 - 0.15)	-1.11	-0.11
2042	0.00 (0.00 - 0.01)	0.00 (0.00 - 0.01)	0.00 (0.00 - 0.00)	0.00 (0.00 - 0.09)	-1.23	-0.23

Tabel 3.8. bodemdalingssnelheid (onzekerheid), belasting en gebruiksruimte voor de kombergingsgebieden Zoutkamperlaag en Pinkegat (mm/jaar) op basis van het productie profiel volgens tabel 3.9).

3.5. Indien nodig aanpassen productie

Voor deel 1 van deze rapportage is vast gehouden aan de totale gasproductie volgens het productie scenario van het vigerende winningsplan. In lijn met de aangepaste gasreserves resulteerde dit in een verhoogde productie voor Nes en een lagere productie voor Moddergat. Voor de productie van de Lauwersoog velden is uitgegaan van oorspronkelijk aangenomen gasreserves en productiecapaciteit. In

verband met de huidige lage productie capaciteit van de beide Lauwersoog velden is de intentie voor 2009 een gedeelte van de productie, die gepland was voor de Lauwersoog velden, te produceren uit de velden Nes en Moddergat. Uitgebreide productie testen van de twee Lauwersoog velden, gepland in het tweede kwartaal van 2009, zullen uitsluitel moeten geven of de capaciteit in beide velden kan worden verhoogd. Tabel 3.9 toont de jaarlijkse productie (miljoen m³) per voorkomen 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 scenario niet zal leiden tot overschrijding van de gebruiksruimte (zie tabel 3.8).

Jaar	Moddergat	Nes	Lauwersoog-Lauwersoog-Lauwersoog-Vierhuizen-			
			Oost	West	C	Oost
2007	383	340	-	-	-	-
2008	311	485	42	85	-	168
2009	433	502	368	342	-	281
2010	454	273	371	364	-	267
2011	348	518	287	296	-	154
2012	198	644	190	232	-	113
2013	174	613	142	174	-	75
2014	179	504	115	140	-	52
2015	88	574	89	104	-	38
2016	51	508	70	76	-	26
2017	34	469	58	63	19	16
2018	25	405	66	49	61	10
2019	19	351	96	89	56	5
2020	16	308	79	74	52	12
2021	14	271	66	58	51	8
2022	12	240	56	48	47	9
2023	11	199	48	43	41	6
2024	10	178	43	34	40	6
2025	9	154	38	29	37	1
2026	8	139	35	26	34	-
2027	8	125	36	26	31	-
2028	7	113	36	26	29	-
2029	7	107	34	25	27	-
2030	6	97	33	23	25	-
2031	-	93	32	16	23	-
2032	-	86	31	22	23	-
2033	-	77	29	20	21	-
2034	-	69	19	8	15	-
2035	-	61	-	-	-	-
2036	-	-	-	-	-	-
2037	-	-	-	-	-	-

Tabel 3.9. Gerealiseerde (2007 & 2008) en voorgenomen productie (miljoen m³) per voorkomen. Een correctie voor allocatie fouten is toegepast voor 2007. Hierdoor wijkt het geproduceerde gasvolume in 2007 licht af van wat in de Meet- en regelcyclus rapportage 2007 is gerapporteerd. Voor 2009 zal, in verband met de huidige lagere productie capaciteit van beide Lauwersoog putten, een gedeelte van de productie worden geproduceerd door de velden Nes en Moddergat. Na 2009 is voor de totale productie uitgegaan van het vigerende winningsplan productiescenario.

3.6. Actualiseren

Figuren 3.3 en 3.4 tonen de geactualiseerde verwachte belastingen voor de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag volgens het in tabel 3.9 getoonde productie scenario. Zoals uit onderstaande figuren blijkt, resteert er nog gebruiksruimte voor additionele productie. De belasting zal inclusief relatieve zeespiegelstijging volgens scenario vastgelegd in hoofdstuk 4.7 van bijlage 3 van het Rijksprojectbesluit het meegroeivermogen van de kombergingsgebieden 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 3.9. In de figuren is tevens de belasting zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclus rapportage 2007 (M&R 2007) voor de jaren 2007 en 2008 weergegeven.

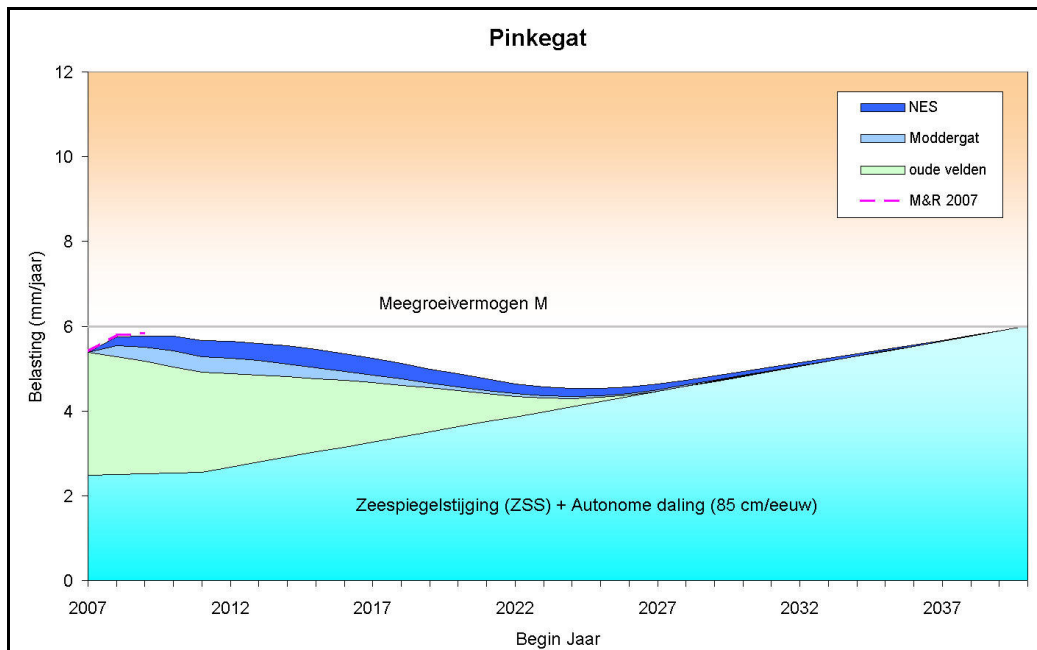


Fig. 3.3 Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging + autonome daling voor het kombergingsgebied Pinkegat. Voor de modellering van de bodemdaling tengevolge van de gaswinning van Ameland is het geomechanische model (WP2003) toegepast

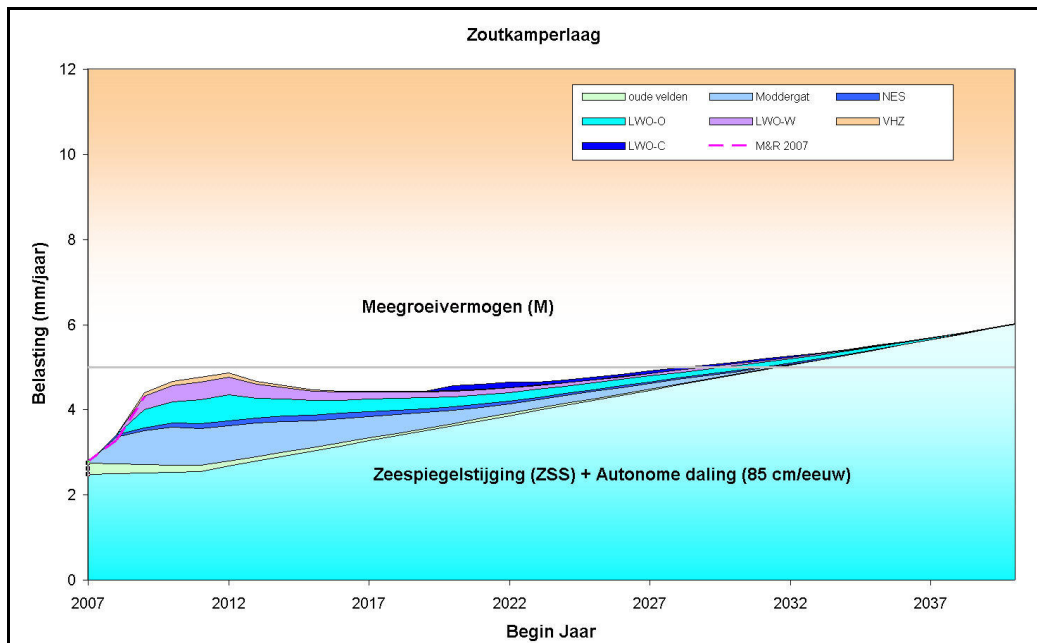


Fig. 3.4. Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging + autonome daling voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag.

Bodemdaling GPS locaties op Moddergat en Ameland

Tabel 3.10 geeft de gemodelleerde bodemdaling op de GPS locaties vanaf begin 2007 tot en met 2009. Dat is het tijdstip waarop de eerstvolgende vlakdekkende metingen zijn gepland, die de volledige bodemdalingsschotel veroorzaakt door de productie van de locaties Moddergat, Lauwersoog, Vierhuizen en Ameland (zie meetplan Waddenzeegebied 2008) bestrijken. De onzekerheid in de gemodelleerde bodemdaling heeft, zoals eerder beschreven, geen normale verdeling. Kalibratie van het geomechanische model is gebaseerd op de kalibratie van de volledige bodemdalingsschotel. De figuren 3.5, 3.6 en 3.7 geven de geprognosticeerde daling tot en met 2009 plus de gemeten daling vanaf begin 2007 op de GPS locaties grafisch weer.

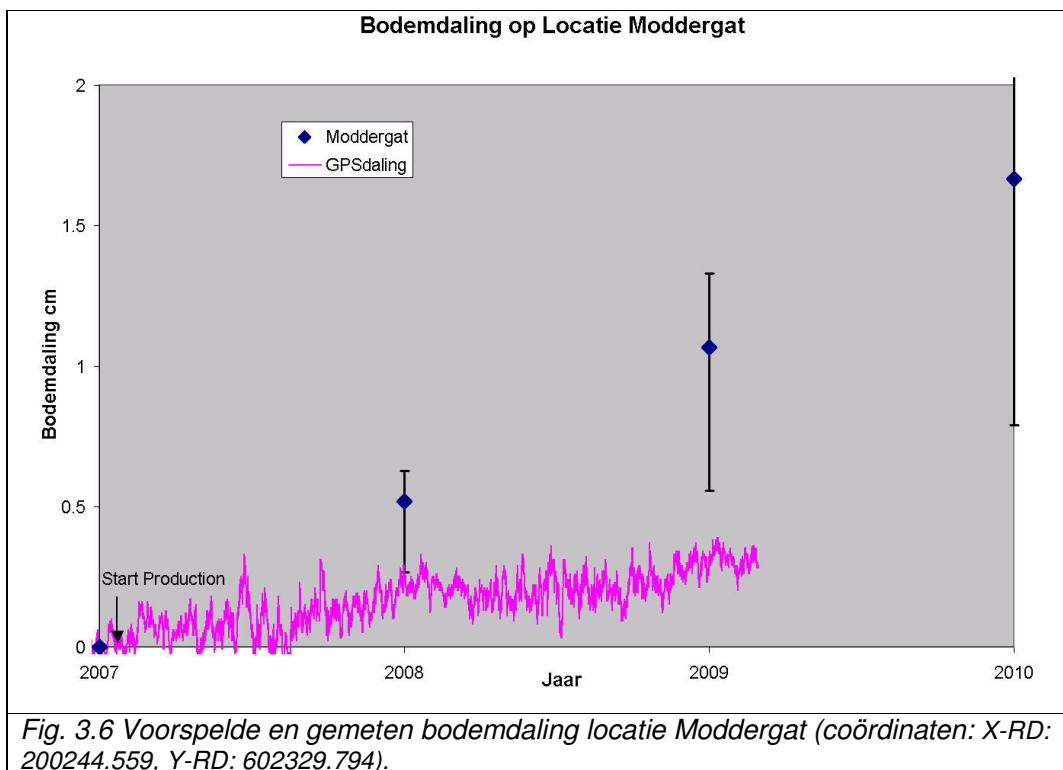
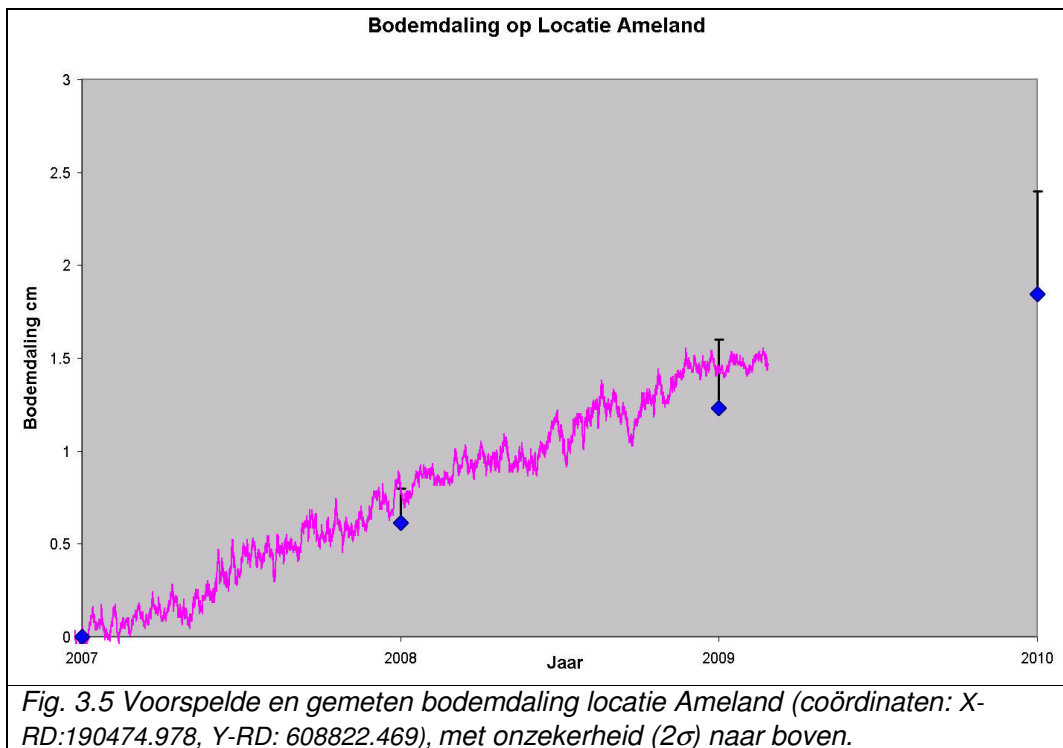
De continue GPS meting boven het voorkomen Moddergat geeft aan dat er nog nauwelijks bodemdaling heeft plaats gevonden ten gevolge van de gasproductie van Moddergat en Nes. Dit is bevestigd door de waterpasmetingen die in 2008 in dit gebied zijn uitgevoerd. Ook de GPS metingen in de Waddenzee op de 3 locaties in het centrum van de bodemdalingsschotel, die wordt veroorzaakt door de productie van deze twee velden, geven aan dat er nauwelijks meetbare bodemdaling heeft plaats gevonden. Volgens de geomechanische modellering wordt er op de GPS locatie Moddergat een totale bodemdaling van 1.1 cm verwacht, terwijl de gemeten daling, bepaald met continue GPS metingen, slechts 0.2 cm is. Mogelijke verklaringen voor dit verschil zijn:

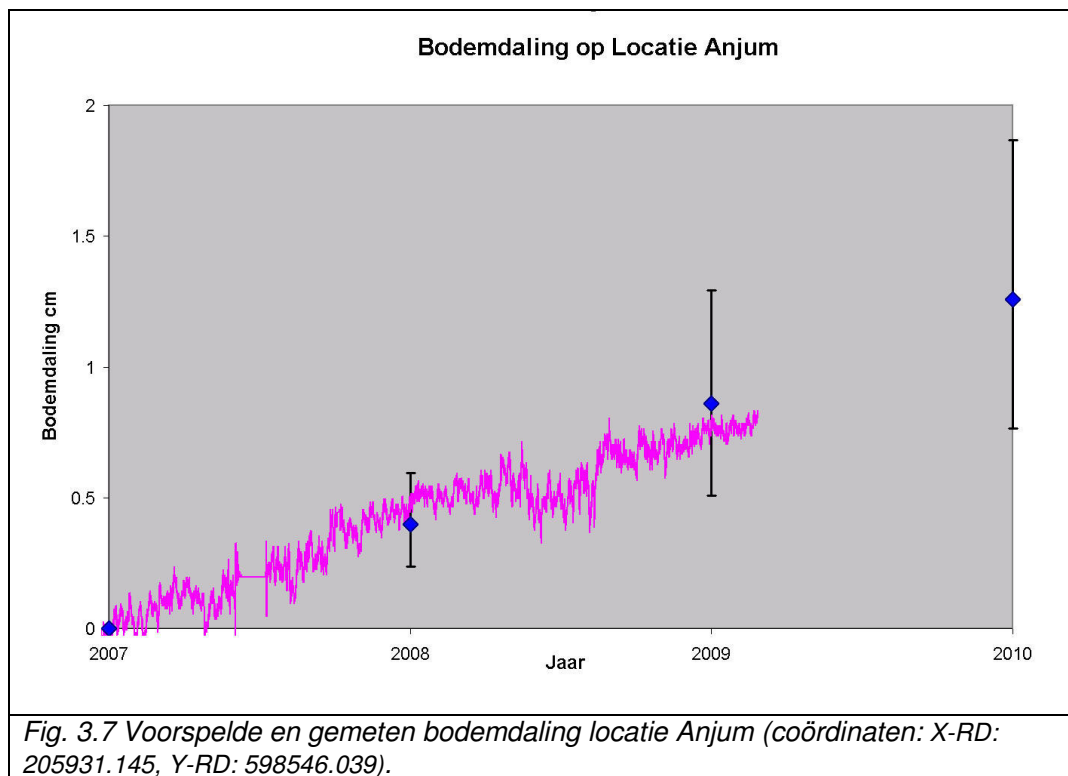
- Een gedeelte van de gemodelleerde bodemdaling wordt veroorzaakt door de Anjum, Metslawier en Ezumazijl velden. De Geomechanische modellering wordt uitgevoerd met de "Geertsma en van Opstal" theorie wat in het algemeen resulteert in een bodemdalingsschotel, die iets ondieper, maar wijder is dan de metingen aangeven. Kalibratie/inversie is uitgevoerd met hoogteverschilmetingen op de peilmerken, waarbij vooral werd gekalibreerd op de peilmerken in het centrum van de bodemdalingsschotel met als gevolg dat de gemodelleerde bodemdaling ten gevolge van de bovengenoemde drie velden in het gebied Nes/Moddergat te hoog is.

- De doorgerekende scenario's (zie sectie 5.3) geven aan dat reservoir druk simulaties voor het toegepaste scenario mogelijk resulteren in een te hoge drukdaling in het watervoerende gedeelte van de reservoirs. In combinatie met een compactie model, dat gebaseerd is op parameters die zijn gebaseerd op Anjum, resulteert dat in te hoge gemodelleerde bodemdaling. Zolang er nog nagenoeg geen bodemdaling ten gevolge van de gaswinning van de nieuwe voorkomens gemeten wordt, worden voor de geomechanische modellering de parameters van de nabij gelegen analoge velden gebruikt.

Datum	Ameland	Moddergat	Anjum
1.1.2008	0.6 (- 0.8)	0.5 (0.6 – 0.2)	0.4 (0.6 – 0.2)
1.1.2009	1.2 (- 1.6)	1.1 (1.4 – 0.6)	0.9 (1.3 – 0.5)
1.1.2010	1.8 (- 2.4)	1.7 (2.3 – 0.8)	1.3 (1.8 – 0.8)

Tabel 3.10. Voorspelde daling t.o.v. 1.1.2007 op de GPS locaties (cm). Voor Ameland met onzekerheid naar boven (2 σ) tussen haakjes.





4. 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 2008 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	De formele Teambeschrijving van het Hand Aan de Kraan team (HAK-team) is goedgekeurd en opgenomen in het CMS
Opstellen beheersmethoden	Het Meet- en Regelprotocol is opgesteld. Instemming is verkregen van SodM in 2006.
Monitoring, metingen en rapportages	Bodemdalings- en biotiekmetingen zijn uitgevoerd volgens plan
Interne Controle	Een vergunnings compliance check is in januari 2008 uitgevoerd. (geen non-compliances)
Certificatie / externe audits	De jaarlijkse externe ISO 14001 controle audit bij NAM door BSI Management Systems is uitgevoerd in februari 2008, waarbij speciale aandacht werd besteed aan Waddenzee appraisal, vergunningen, ecologische studies, bodemdalings-metingen en boringen. Er zijn geen non-compliances geconstateerd. Er was specifiek positief commentaar in het audit rapport betreffende de voorbereiding en uitvoering van de boringsactiviteiten; de aanpak en project benadering van het HAK-team; compliance verificatie van de wettelijke bepalingen en de opvolging van het monitoringsprogramma.

5. Deel 2. Vooruitblik: Toepassing nieuwe inzichten.

Eind 2009 is NAM voornemens een wijziging op het vigerende winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen betreffende verhoging van het productievolume aan de minister ter instemming voor te leggen. Ook is NAM voornemens een wijziging op het vigerende winningsplan Ameland aan de minister ter instemming voor te leggen. Voor de Meet- en regelrapportage van 2009 zal van deze beide gewijzigde winningsplannen worden uitgegaan. Vooruitlopend hierop zijn in dit deel van de rapportage de resultaten getoond waarbij:

- de productie van de mijnbouwlocaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen wordt geoptimaliseerd binnen de beschikbare gebruiksruimte.
- voor Ameland de modellering van de bodemdaling wordt uitgevoerd met het alternatieve geomechanische model.

Zoals beschreven in paragraaf 3.2 geven de metingen op de drie peilmerkclusters die in 2008 in de Waddenzee zijn uitgevoerd aan dat de peilmerken van de in 2006 geplaatste clusters mogelijk nog niet voldoende waren gestabiliseerd toen de “nulmeting” werd uitgevoerd. In dit deel van de rapportage beschrijft NAM de maatregelen die in dit verband genomen zijn of nog zullen worden.

5.1 Meten.

Gezien de resultaten van de 2007 en 2008 metingen lijkt de (onderlinge) stabiliteit van de door NAM in 2006 in de Waddenzee geplaatste peilmerken minder hoog te zijn dan de meetnauwkeurigheid van de GPS metingen. Ieder peilmerkcluster in de Waddenzee bestaat uit 3 onafhankelijke peilmerken. Cluster M008 laat onderlinge verschillen van respectievelijk 4.0 en 0.7 cm t.o.v. het minst dalende peilmerk zien. Voor cluster M016 zijn de afwijkingen 0.5 en 0.4 cm. Gezien het belang van de hoge nauwkeurigheid van de Waddenzee bodemdalingsmetingen is het belangrijk om te onderzoeken of de oorspronkelijke doelstelling van peilmerkstabiliteit op het niveau van de bestaande RWS wadmerken t.o.v. het referentiejaar 2006 bereikt kan worden.

Om te kunnen beoordelen of de reeds gemeten clusters M008, M016 en M002 (zie fig. 2.2 in Bijlage 2) representatief zijn heeft NAM in aansluiting op de officiële 2008 meetcampagne op eigen initiatief de onderlinge hoogteverschillen van de peilmerken van alle 16 in 2006 geplaatste clusters gewaterpast [referentie 10].

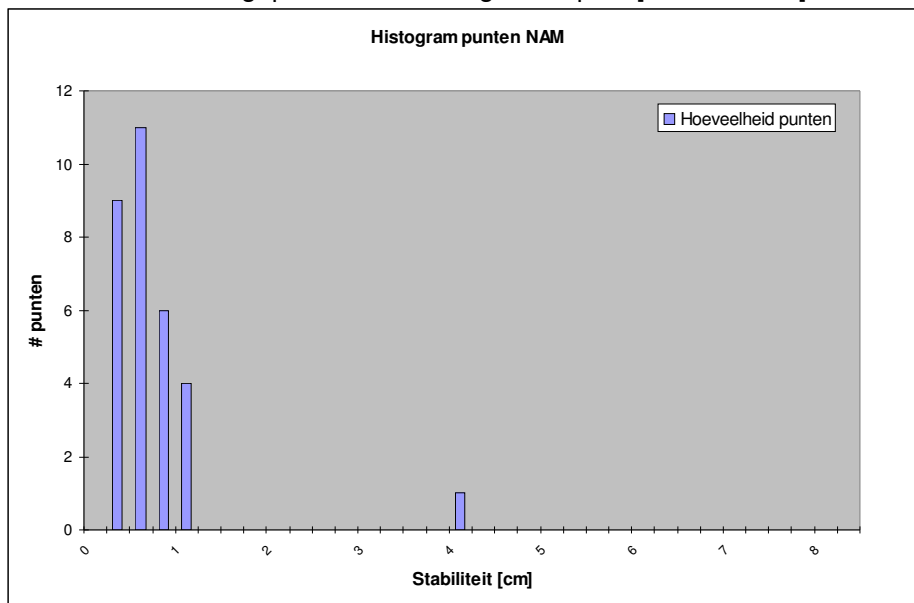


Fig. 5.1. Stabiliteitsanalyse NAM peilmerken 2006-2008 (zie ook bijlage 2).

De voorlopige resultaten van deze stabiliteitsanalyse zijn in Figuur 5.1 weergegeven. Per cluster is het meest stabiele peilmerk bepaald; verder zijn t.o.v dit 'minst relatief dalende' peilmerk de bewegingen van de twee overige peilmerken berekend (zie ook bijlage 2). Uit dit onderzoek blijkt dat de gemiddelde relatieve stabiliteit van de NAM clusters 5mm is (exclusief cluster M008: 4cm). 15 van de 16 NAM clusters hebben twee of meer peilmerken met een stabiliteit van 5mm of beter. Hieruit kan worden geconcludeerd dat cluster M008 niet representatief is voor de stabiliteit van de nieuwe door NAM in 2006 geïnstalleerde clusters.

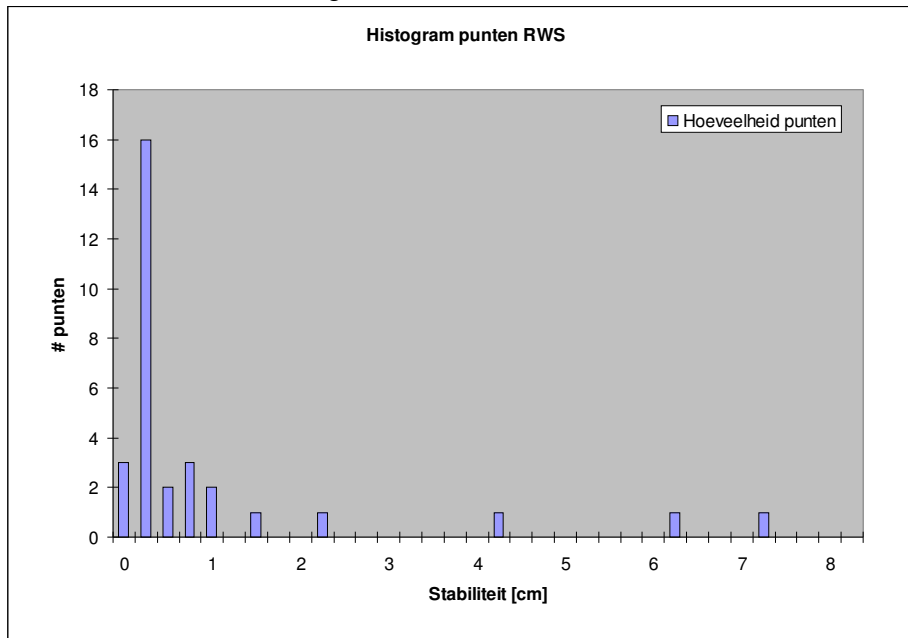


Fig. 5.2. Stabiliteitsanalyse RWS peilmerken historie-2006 (zie ook bijlage 2)

Verder is een vergelijkbare onderzoek uitgevoerd op basis van 16 oude, door RWS geïnstalleerde clusters die door NAM in 2006 zijn aangemeten. Hierbij is de relatieve stabiliteit bepaald tussen 2006 en de vorige historische RWS meting. Het resultaat van deze analyse is in Figuur 5.2. weergegeven. De gemiddelde relatieve stabiliteit van de RWS clusters ligt bij 8mm en is dus vergelijkbaar met de NAM peilmerken. De RWS clusters laten een hogere percentage peilmerken zien die al volledig gestabiliseerd zijn (<0.2mm afwijking) maar ook meer peilmerken met een afwijking groter dan 1 cm.

Ten slotte is gekeken naar de ontwikkeling van de stabiliteit van cluster M002 (zie Bijlage2 figuur 2.2). Deze cluster is zowel in 2007 als ook in 2008 aangemeten. De cluster laat t.o.v. 2006 een afwijking van 3 tot 8mm zien, maar is t.o.v. 2007 al op een niveau van 1 tot 2mm gestabiliseerd. Zoals in paragraaf 3.2 vermeld, wordt verwacht dat inmiddels alle clusters een vergelijkbaar hogere stabiliteit bereikt hebben. Wanneer de resultaten van de meetcampagne 2009 beschikbaar zijn, zal pas kunnen worden onderzocht of de andere clusters deze stabiliteit ook werkelijk hebben bereikt.

5.2 Modellerings bodemdaling

De reservoir simulatie modellen en geomechanische modellen voor de Waddenzee voorkomens Nes, Moddergat, Lauwersoog-Oost, -West en -C en Vierhuizen-Oost zijn dezelfde als beschreven in deel 1 van dit rapport.

Voor de Ameland voorkomens werd voor de modellering het geomechanische bodemdalingsmodel WP2003 gebruikt. Uit de sinds 2003 gemeten bodemdaling

boven de Ameland voorkomens blijkt, zoals reeds eerder is vastgesteld, dat de prognose van dit WP2003 bodemdalingsmodel de bodemdaling in de Waddenzee door gasproductie uit de Ameland velden significant overschat (referenties 3, 4, 16 en 17). NAM hanteert daarom ter vergelijking al geruime tijd ook een alternatief geomechanisch model.

Op het eiland Ameland wordt op sommige peilmerken echter toch significant meer daling gemeten dan ook door het alternatieve geomechanische model kan worden verklaard. Recentelijk is een studie door Deltares uitgevoerd naar mogelijke differentiële bodemdaling ten gevolge van compactie in de ondiepe tot matig diepe ondergrond van Ameland-Oost (referentie 19). Conclusie van deze studie is dat de plaatselijk geconstateerde snellere daling mogelijk verklaard kan worden door de aanwezigheid van compacterende kleien in de ondiepe tot matig diepe ondergrond. De verwachte zetting op basis van de lithologische opbouw van de ondiepe ondergrond komt overeen met het verschil in gemodelleerde bodemdaling ten gevolge van de gaswinning en gemeten bodemdaling (0.6 – 2.5 mm/jaar). In het meest oostelijke deel van het eiland, waar de gemodelleerde bodemdaling wel goed overeenkomt met de gemeten daling, ontbreken deze compacterende kleien. Figuur 5.3 geeft een overzicht van de peilmerken op het eiland Ameland en de clusters bestaande uit elk 3 peilmerken in de Waddenzee die reeds voor de start van de Ameland gaswinning in 1986 door Rijkswaterstaat waren geïnstalleerd.

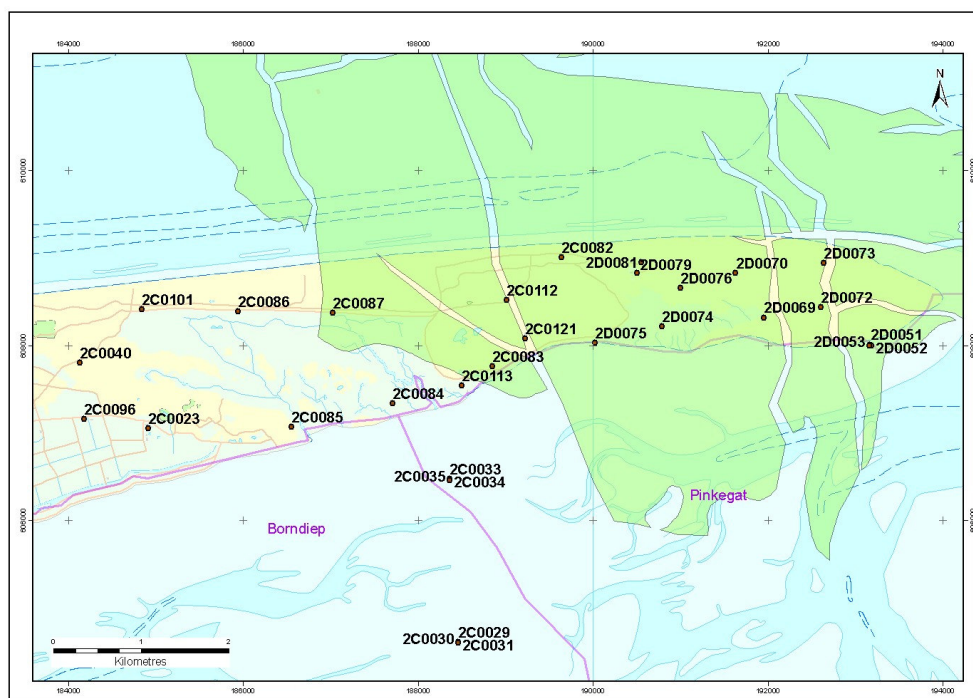


Fig. 5.3. Peilmerken op Ameland en in de Waddenzee.

Met deze kennis is in 2008, zoals in de vorige rapportage al werd aangekondigd, de door SodM opgezette toetsingsprocedure (referentie 18) voor het nieuwe geomechanische model voor Ameland doorlopen.

Figuur 5.4 toont voor het geomechanische bodemdalingsmodel WP2003 voor elk peilmerk het verschil tussen gemodelleerde en gemeten daling als staafdiagram voor een aantal jaren. In de figuur wordt de meetonzekerheid (D_{krit} , 3σ) weergegeven. Duidelijk is dat met name in de Waddenzee (clusters met de peilmerken C0029, -03, -31, C0033, -34, -35 en D0051, -52, -53) de met het geomechanische Ameland WP2003 model gemodelleerde bodemdaling resulteert in een veel te hoge

bodemdaling. Figuren 5.5 en 5.6 geven de resultaten van het doorlopen van de toetsingsprocedure voor het alternatieve Ameland geomechanische model waarbij bij de kalibratie respectievelijk geen en wel rekening is gehouden met mogelijk autonoom peilmerkgedrag zoals aangegeven door Deltares. Voorlopig is als scenario voor Ameland in deel 2 van dit rapport het alternatieve geomechanische model toegepast waarbij nog geen rekening is gehouden met mogelijk autonome daling op Ameland (hierna gerefereerd als alternatief Ameland basis model). Dit model voldoet nog niet volledig aan het toetsing criteria van SodM, maar resulteert in een mogelijk wat te hoge (en dus veilige) modellering van de bodemdaling ten gevolge van de gas productie van de Ameland voorkomens. Indien wel rekening wordt gehouden met autonome daling van de peilmerken wordt voldaan aan de toetsing criteria van SodM (zie figuur 5.6)

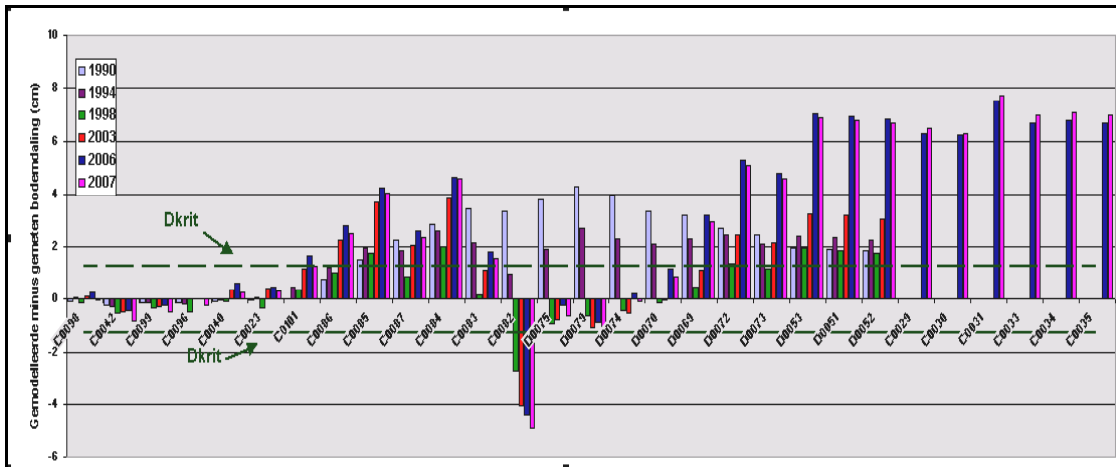


Fig. 5.4. Toetsing van het Ameland WP2003 model. De hoogte / lengte van een staaf geeft het verschil in gemodelleerde met gemeten bodemdaling op de peilmerken in centimeters voor de jaren 1990, 1994, 1998, 2003, 2006 en 2007. Positief op de Y-as geeft aan dat meer bodemdaling is gemodelleerd dan gemeten. De peilmerken D0051, -52, -53, D0030, t/m -35 behoren tot de 3 Waddenzee clusters.

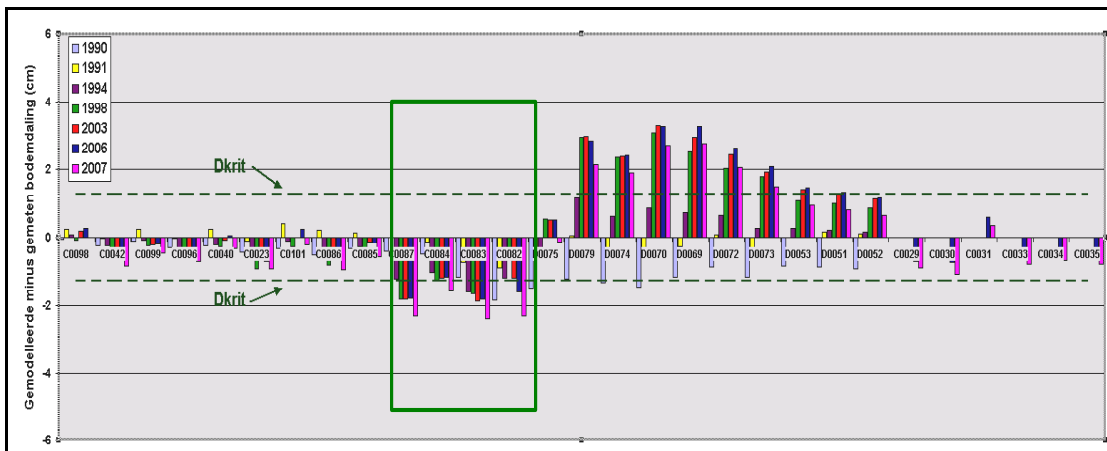


Fig. 5.5. Toetsing van het alternatieve Ameland basis model. De hoogte / lengte van een staaf geeft het verschil in gemodelleerde met gemeten bodemdaling op de peilmerken in centimeters voor de jaren 1990, 1994, 1998, 2003, 2006 en 2007. Positief op de Y-as geeft aan dat meer bodemdaling is gemodelleerd dan gemeten. De peilmerken C0082, -83, -84 en -87 bevinden zich in een gebied dat door Deltares is aangemerkt waar mogelijk ondiepe compactie plaats vindt (binnen de groene rechthoek).

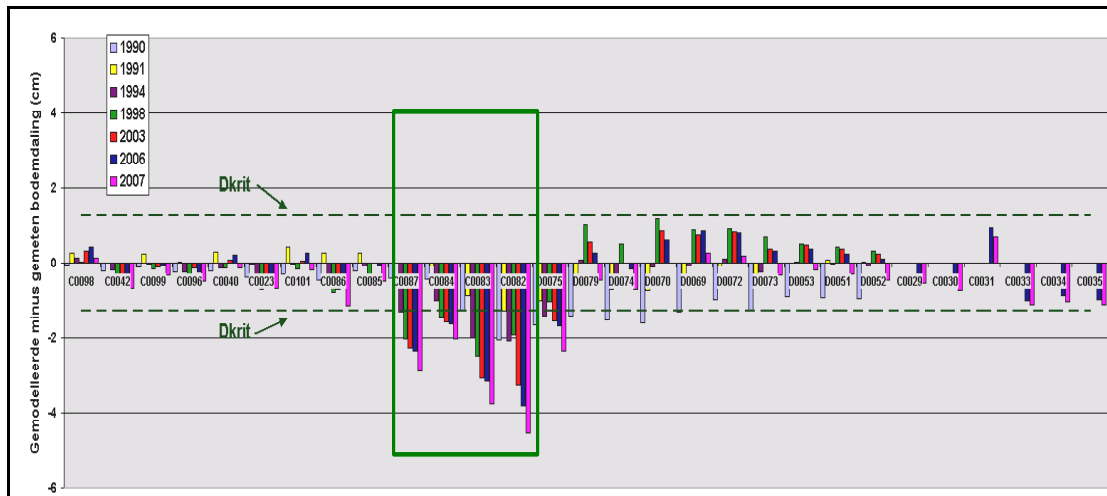


Fig. 5.6. Toetsing van het alternatief Ameland model waarbij wel rekening is gehouden met mogelijk autonome daling van de peilmerken. De hoogte / lengte van een staaf geeft het verschil in gemodelleerde met gemeten bodemdaling op de peilmerken in centimeters voor de jaren 1990, 1994, 1998, 2003, 2006 en 2007. Positief op de Y-as geeft aan dat meer bodemdaling is gemodelleerd dan gemeten.

Figuur 5.7 toont de gemeten bodemdaling in vergelijking met de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde modellen. Het verschil met figuur 3.1 is dat voor Ameland het alternatieve geomechanische basis model is toegepast.

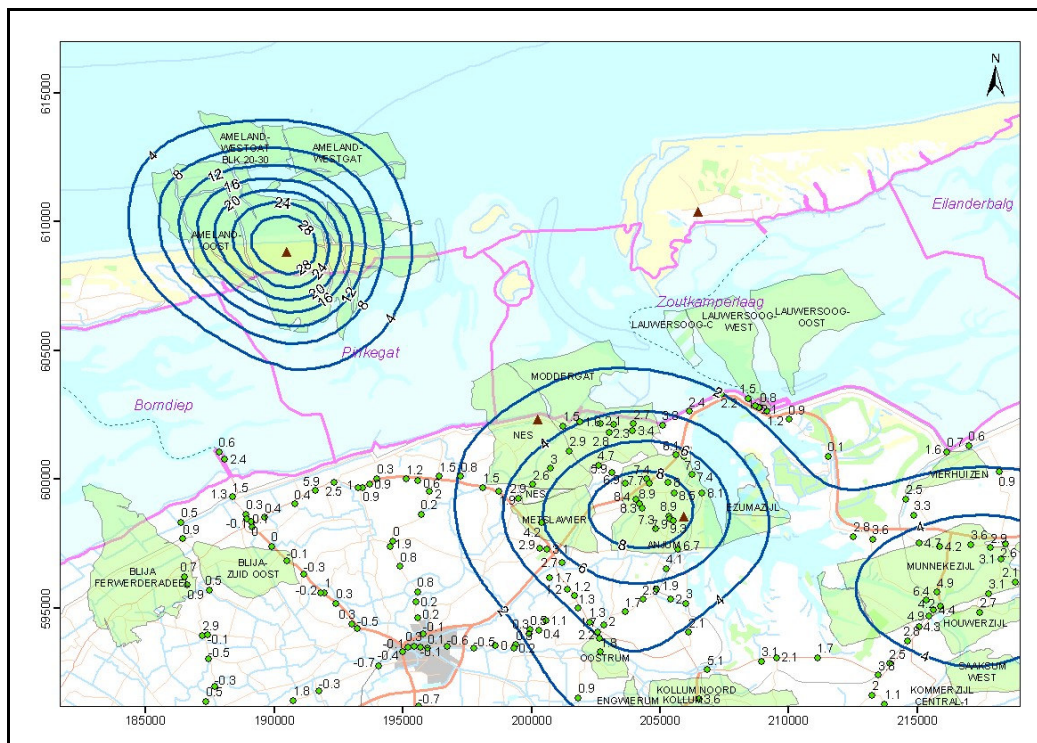


Fig. 5.7 Totale bodemdaling door gaswinning t/m 2008 (sinds start productie). In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde geomechanische modellen. Belangrijke aanpassingen zijn het alternatieve geomechanische model voor Ameland en nieuwe dynamische reservoir modellen voor Nes en Moddergat. Bodemdaling in cm.

5.3 Berekeningen volume en gemiddelde daling

Bepaling volumes en gemiddelde daling

Met behulp van de gekalibreerde geomechanische modellen, waarbij voor de Ameland voorkomens het alternatieve basis model is toegepast, zijn zowel het reeds opgetreden dalingsvolume in de betreffende kombergingsgebieden als de nog in de toekomst te verwachten jaarlijkse toename daarvan bepaald. Vervolgens is de gemiddelde bodemdalingssnelheid bepaald zoals beschreven in deel 1 van deze rapportage.

Onzekerheid analytisch gemodelleerde bodemdaling (alle velden behalve Ameland).

Voor de Waddenzee velden Nes, Moddergat, Lauwersoog-Oost, West en –C en Vierhuizen-Oost zijn dezelfde modelparameters gebruikt als in het scenario dat in deel 1 van deze rapportage is gebruikt. Alleen is voor de voorkomens Nes en Moddergat de productie aangepast om optimaal gebruik te maken van de beschikbare gebruiksruimte. Om de onzekerheid van de opgetreden en voorspelde bodemdaling te bepalen – berekend met het geomechanische model - is voor dit scenario de Monte Carlo methode toegepast zoals beschreven in deel 1 van deze rapportage.

Naast het bovengenoemde scenario zijn alternatieve scenario's doorerekend met betrekking tot reservoir parameters in de aquifers, aangepaste gas reserves, productie capaciteit en reservoir compactie parameters. Een korte beschrijving van vijf van deze scenario's wordt gegeven in tabel 5.1. Dynamisch modeltype (2D) en compactiemodelparameters zijn voor de velden Lauwersoog en Vierhuizen in al deze scenario's gelijk gehouden aan die van het winningsplan van 2006. Wel zijn gas reserves en productie van deze velden voor sommige scenario's gevarieerd. De scenario's D en E geven de resulterende belasting (gemiddelde bodemdalingssnelheid per 6 jaar) indien er respectievelijk geen drukdaling en een vertraagde drukdaling in de aquifers van de velden Nes en Moddergat plaats vindt. Indien dit ook het geval is voor de velden Lauwersoog-Oost en –West en Vierhuizen, zou dit leiden tot een nog lagere belasting in Zoutkamperlaag. De resulterende belastingen worden getoond in figuur 5.8 en 5.9 voor respectievelijk de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag.

Scenario	Beschrijving
Optimale productie	Nieuw (3 dimensionaal) dynamisch reservoir model voor de velden Nes en Moddergat. Verhoogde productie Moddergat en Nes om mogelijk tekort Lauwersoog velden op te vangen. Aquifer permeabiliteit Nes en Moddergat gebaseerd op her-evaluatie kernen. Oorspronkelijke reserves en productie Lauwersoog velden en Vierhuizen. Compactie model parameters zoals aangegeven in het winningsplan van 2006.
A	Bestaande (2 dimensionaal) dynamisch reservoir model voor de velden Nes en Moddergat (referentie Meet- & regelcyclus 2007) maar met aangepaste gas reserves. Productie Nes en Moddergat zoals in scenario met optimale productie. Aquifer drukdaling voor Nes en Moddergat gebaseerd op ratio aquifer/ratio druk analoog veld Anjum. Oorspronkelijke reserves en productie capaciteit Lauwersoog velden en Vierhuizen. Compactie model parameters zoals aangegeven in het winningsplan van 2006.
B	Nieuw dynamisch (3D) reservoir model voor de velden Nes en Moddergat. Productie Nes en Moddergat zoals in scenario met optimale productie. Aquifer permeabiliteit Nes en Moddergat gebaseerd op her-evaluatie kernen. Gereduceerde gas reserves en productie voor de Lauwersoog velden. Compactie model zoals aangegeven in het winningsplan van 2006.
C	Nieuw (3D) dynamisch reservoir model voor de velden Nes en Moddergat. Verhoogde productie Moddergat en Nes om mogelijk tekort Lauwersoog velden op te vangen. Aquifer permeabiliteit Nes en Moddergat gebaseerd op her-evaluatie kernen. Oorspronkelijke reserves en productie Lauwersoog velden en Vierhuizen. Compactie model parameters voor Nes en Moddergat aangepast d.m.v. inversie van historische bodemdaling boven gehele Anjum, Nes en Moddergat gebied. Hierbij is niet de nadruk gelegd op het centrum van de bodemdalingsskom zoals voor het scenario met optimale productie. Compactie model Lauwersoog en Vierhuizen velden zoals aangegeven in het winningsplan van 2006.
D	Nieuw (3D) dynamisch reservoir model voor de velden Nes en Moddergat. Productie Nes en Moddergat zoals in scenario met optimale productie. Geen reservoir druk daling in de aquifer van de velden Nes en Moddergat. Gereduceerde gas reserves en productie voor de Lauwersoog velden. Compactie model parameters zoals aangegeven in het winningsplan van 2006.
E	Nieuw (3D) dynamisch reservoir model voor de velden Nes en Moddergat Productie Nes en Moddergat zoals in scenario met optimale productie. Gereduceerde permeabiliteit in de aquifer voor de velden Nes en Moddergat. Oorspronkelijke reserves en productie Lauwersoog velden en Vierhuizen. Compactie model parameters zoals aangegeven in het winningsplan van 2006.

Tabel 5.1 Waddenzee bodemdaling scenario's (exclusief Ameland).

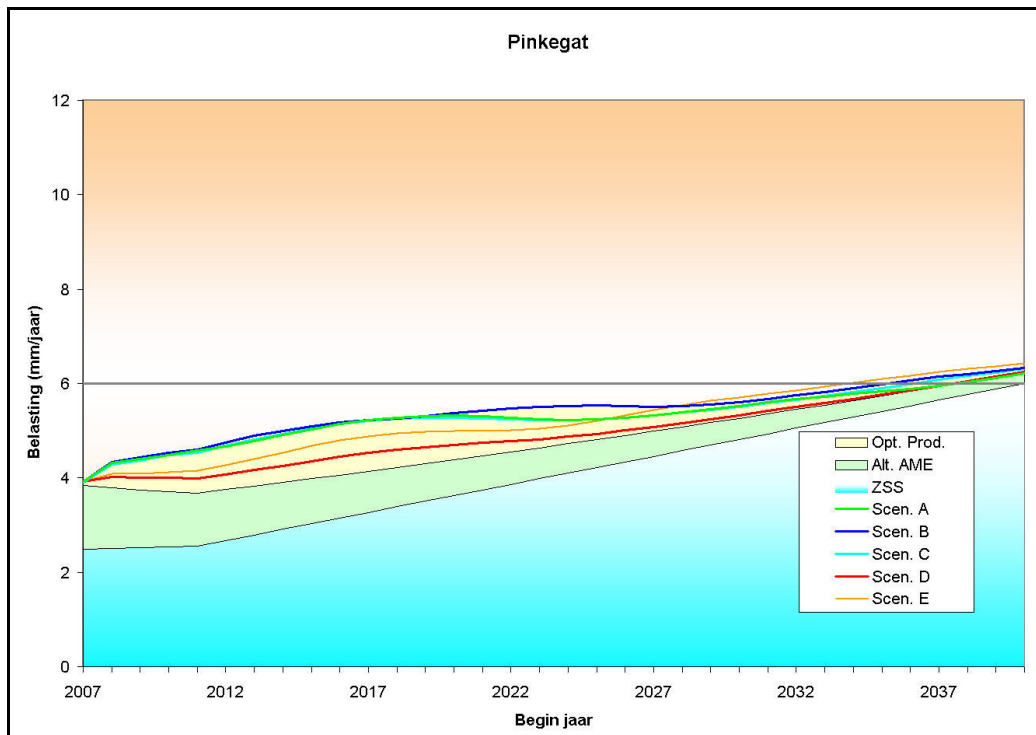


Fig. 5.8. Voorspelde belasting voor het “optimale productie” scenario met met effecten alternatieve scenario's A - E voor het kombergingsgebied Pinkegat. Voor Ameland is het alternatieve model basis scenario toegepast.

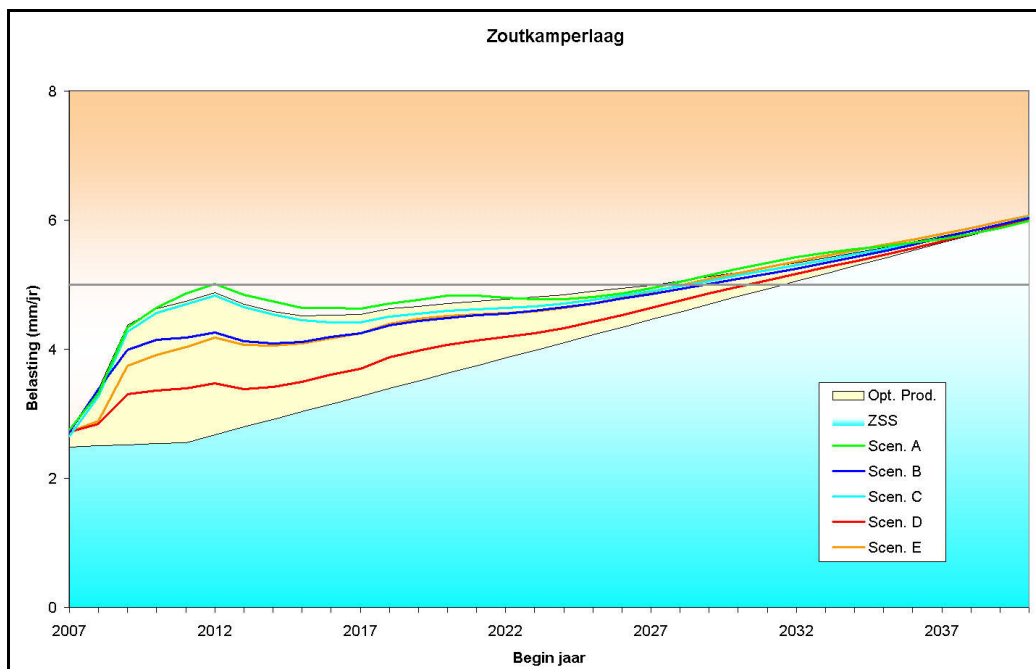


Fig. 5.9. Voorspelde belasting voor het “optimale productie” scenario met effecten alternatieve scenario's A - E voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag.

De figuren 5.8 en 5.9 tonen aan dat het in deel 2 van dit rapport gehanteerde “optimale productie” scenario correspondeert met een hogere belasting dan de meeste andere scenario's (n.b. voor alle beschouwde scenario's blijft de belasting binnen de gebruiksruimte). Dit betekent dat de verwachtingswaarde (in termen van kansberekening) voor de belasting lager is dan volgens de prognose bepaald m.b.v. het “optimale productie” scenario. Bij een langere productie historie zullen de

reservoir simulatie parameters na kalibratie met productie en reservoir drukmetingen met een grotere nauwkeurigheid worden bepaald, wat de range in mogelijke depletie scenario's zal beperken. De verwachting is dan ook dat de belasting (gemiddelde bodemdalingssnelheid per kombergingsgebied over 6 jaar) veroorzaakt door de gasproductie van de nieuwe Waddenzeevelden naar beneden zal worden bijgesteld.

Onzekerheid Ameland bodemdaling

Zoals beschreven wordt in dit deel van de rapportage voor het modelleren van de bodemdaling door gasproductie uit de Ameland voorkomens uitgegaan van een alternatief geomechanisch model. Grootste onzekerheid hierin is de drukdaling in de watervoerende aangesloten reservoirs, de laterale aquifers, die voor een groot gedeelte verantwoordelijk is voor de bodemdaling in het kombergingsgebied Pinkegat. Het basis scenario voor de drukdaling in de aquifer van Ameland is gebaseerd op de resultaten van de modellering van het Anjum veld. Daar is, om de druk in het aquifer te modelleren, naast kalibratie van het dynamische reservoir model met gemeten productie en reservoirdruk, tevens gebruik gemaakt van inversie van de gemeten bodemdaling over tijd. Hieruit volgde een groot contrast tussen de permeabiliteit van het gas- en watervoerende deel van het reservoir, hetgeen resulteert in een vertraagde drukdaling in de aquifers. De onzekerheid in de bodemdalingprognose voor Ameland is deterministisch bepaald waarbij naast dit basis scenario, een drietal scenario's zijn doorgerekend met aangepaste aquifer drukdaling modellen. Voor elk van deze scenario's zijn de parameters van het compactiemodel gekalibreerd met de gemeten bodemdaling op de peilmerken sinds start van de productie in 1986. Bij deze kalibratie is initieel geen rekening gehouden met mogelijk autonoom peilmerkgedrag zoals beschreven door Deltares (zie paragraaf over modellering bodemdaling), maar is steeds de beste gemiddelde passing met de hoogteverschillen in tijd van alle peilmerken genomen. Daarnaast is voor het basis scenario een scenario doorgerekend, waarbij met de kalibratie wel rekening is gehouden met mogelijk autonoom peilmerkgedrag zoals is aangegeven in de studie van Deltares hierna gerefereerd als "autonome daling scenario". De bandbreedte in bodemdalingssnelheid en belasting ten gevolge van de productie van de Ameland velden, die volgt uit de resultaten van deze scenario's, is gebruikt bij het bepalen van de totale onzekerheid in bodemdalingssnelheid en belasting door bodemdaling in het Waddengebied.

Een korte overzicht van de scenario's wordt gegeven in tabel 5.2 De resulterende belasting worden getoond in figuur 5.10

Scenario	
Basis	Contrast permeabiliteit gasreservoir/aquifer volgens Anjum model. Bij kalibratie geomechanisch model met gemeten daling op de peilmerken geen rekening gehouden met autonoom peilmerkgedrag.
Autonome daling	Contrast permeabiliteit gasreservoir/aquifer volgens Anjum model. Bij kalibratie geomechanisch model met gemeten daling op de peilmerken rekening gehouden met autonoom peilmerkgedrag zoals aangetoond door de Deltares studie.
Scenario 2	Geen contrast in permeabiliteit gasreservoir/aquifer. Bij kalibratie geomechanisch model met gemeten daling op de peilmerken geen rekening gehouden autonoom peilmerkgedrag.
Scenario 3	Als Basis scenario, echter aangenomen dat de breuken in het zuid – oosten van de het Ameland–Oost veld niet doorlatend zijn waardoor er geen drukdaling plaats vindt in aquifer ten zuid–oosten van het veld.
Scenario 4	Als Basis scenario, echter 50% minder contrast in permeabiliteit gasreservoir/aquifers.

Tabel 5.2 Scenario's geomechanische modellering – Alternatief Ameland model.

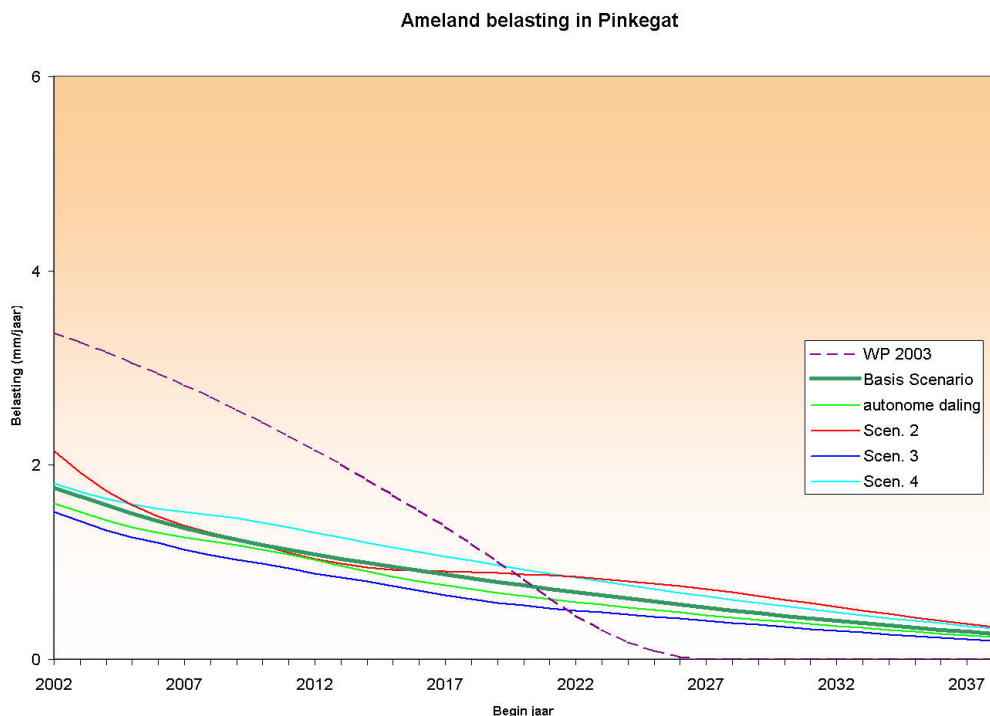


Fig. 5.10. Voorspelde belasting m.b.v. alternatief geomechanisch Ameland model voor verschillende scenario's voor het kombergingsgebied Pinkegat ten gevolge van de gasproductie van de Ameland voorkomens. Dit resulteert in een bandbreedte in bodemdalingssnelheid die is meegenomen in het bepalen van de totale onzekerheid. Ter vergelijking is ook de belasting bepaald met het oude WP 2003 geomechanische model getoond.

Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting

Tabel 5.3 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

bestaande gaswinning in dit gebied. Ook is de op basis van deze waarden berekende belasting B weergegeven, waarbij $B(J) = (S(J-3) + S(J-2) + \dots + S(J+2)) / 6$.

Voor het bodemdalingsvolume van de nieuwe velden en reeds producerende velden (exclusief Ameland) is het "optimale productie" scenario gebruikt waarbij voor dit scenario de onzekerheden zijn bepaald met behulp van de Monte Carlo methode. Voor Ameland is het alternatieve geomechanische model toegepast waarbij geen rekening is gehouden met autonome daling van de peilmerken. De onzekerheden zijn deterministisch bepaald met behulp van verschillend aquifer reservoir drukdaling scenario's zoals hierboven beschreven.

	Zoutkamperlaag		Pinkegat		Gebruiksruimte G	
					Zoutkamper- laag	Pinkegat
Jaar	S	B	S	B	G	G
2004	0.23 (0.17 - 0.23)		1.59 (1.34 - 1.65)		2.57	3.57
2005	0.21 (0.15 - 0.21)		1.53 (1.26 - 1.62)		2.55	3.55
2006	0.19 (0.19 - 0.19)		1.51 (1.24 - 1.68)		2.53	3.53
2007	1.19 (0.99 - 1.27)	1.11 (0.94 - 1.30)	2.16 (1.96 - 2.54)	1.80 (1.56 - 2.08)	2.52	3.52
2008	1.56 (1.34 - 1.97)	1.51 (1.30 - 1.82)	1.99 (1.80 - 2.43)	1.89 (1.65 - 2.24)	2.50	3.50
2009	3.25 (2.77 - 3.93)	1.88 (1.60 - 2.28)	2.04 (1.78 - 2.53)	1.98 (1.75 - 2.41)	2.48	3.48
2010	2.67 (2.33 - 3.36)	2.16 (1.82 - 2.63)	2.10 (1.84 - 2.65)	2.07 (1.85 - 2.58)	2.46	3.46
2011	2.40 (2.00 - 2.96)	2.25 (1.88 - 2.74)	2.08 (1.85 - 2.62)	2.09 (1.85 - 2.64)	2.44	3.44
2012	1.91 (1.51 - 2.28)	2.27 (1.85 - 2.71)	2.08 (1.85 - 2.71)	2.14 (1.87 - 2.72)	2.33	3.33
2013	1.73 (1.30 - 1.97)	1.98 (1.55 - 2.30)	2.26 (1.95 - 2.90)	2.15 (1.88 - 2.76)	2.21	3.21
2014	1.64 (1.15 - 1.74)	1.76 (1.30 - 1.97)	2.29 (1.95 - 2.92)	2.13 (1.84 - 2.74)	2.09	3.09
2015	1.51 (0.98 - 1.51)	1.56 (1.11 - 1.70)	2.12 (1.81 - 2.75)	2.09 (1.78 - 2.68)	1.97	2.97
2016	1.37 (0.87 - 1.37)	1.43 (1.00 - 1.53)	1.96 (1.65 - 2.51)	2.04 (1.71 - 2.58)	1.85	2.85
2017	1.23 (0.85 - 1.33)	1.38 (0.9 - 1.44)	1.85 (1.51 - 2.27)	1.96 (1.61 - 2.44)	1.73	2.73
2018	1.11 (0.82 - 1.28)	1.28 (0.82 - 1.32)	1.78 (1.40 - 2.12)	1.87 (1.50 - 2.31)	1.61	2.61
2019	1.40 (0.76 - 1.40)	1.19 (0.76 - 1.23)	1.75 (1.33 - 2.08)	1.80 (1.40 - 2.21)	1.50	2.50
2020	1.06 (0.67 - 1.06)	1.11 (0.70 - 1.15)	1.74 (1.29 - 2.12)	1.75 (1.32 - 2.15)	1.38	2.38
2021	0.96 (0.59 - 0.96)	1.03 (0.64 - 1.06)	1.71 (1.24 - 2.15)	1.70 (1.26 - 2.11)	1.26	2.26
2022	0.87 (0.52 - 0.87)	0.97 (0.57 - 0.97)	1.65 (1.18 - 2.14)	1.64 (1.20 - 2.09)	1.14	2.14
2023	0.79 (0.47 - 0.79)	0.84 (0.51 - 0.85)	1.55 (1.11 - 2.08)	1.56 (1.13 - 2.05)	1.02	2.02
2024	0.71 (0.42 - 0.71)	0.76 (0.46 - 0.78)	1.42 (1.03 - 1.97)	1.46 (1.06 - 1.97)	0.90	1.90
2025	0.64 (0.39 - 0.69)	0.68 (0.42 - 0.73)	1.27 (0.94 - 1.83)	1.34 (0.98 - 1.88)	0.78	1.78
2026	0.57 (0.36 - 0.67)	0.61 (0.38 - 0.68)	1.13 (0.85 - 1.69)	1.22 (0.91 - 1.76)	0.67	1.67
2027	0.51 (0.33 - 0.64)	0.55 (0.35 - 0.64)	1.02 (0.78 - 1.56)	1.11 (0.84 - 1.64)	0.55	1.55
2028	0.45 (0.30 - 0.60)	0.48 (0.32 - 0.61)	0.94 (0.73 - 1.45)	1.01 (0.78 - 1.52)	0.43	1.43
2029	0.40 (0.27 - 0.55)	0.42 (0.28 - 0.56)	0.88 (0.69 - 1.35)	0.94 (0.73 - 1.42)	0.31	1.31
2030	0.33 (0.23 - 0.49)	0.37 (0.25 - 0.51)	0.85 (0.67 - 1.26)	0.89 (0.69 - 1.32)	0.19	1.19
2031	0.28 (0.20 - 0.43)	0.32 (0.22 - 0.46)	0.83 (0.65 - 1.19)	0.85 (0.67 - 1.24)	0.07	1.07
2032	0.24 (0.17 - 0.37)	0.27 (0.19 - 0.40)	0.80 (0.63 - 1.12)	0.81 (0.65 - 1.17)	-0.04	0.96
2033	0.20 (0.14 - 0.32)	0.22 (0.16 - 0.35)	0.77 (0.62 - 1.07)	0.79 (0.63 - 1.11)	-0.16	0.84
2034	0.16 (0.12 - 0.27)	0.19 (0.13 - 0.30)	0.74 (0.62 - 1.02)	0.76 (0.62 - 1.06)	-0.28	0.72
2035	0.13 (0.09 - 0.22)	0.15 (0.11 - 0.25)	0.71 (0.61 - 0.98)	0.73 (0.61 - 1.01)	-0.40	0.60
2036	0.10 (0.07 - 0.18)	0.12 (0.09 - 0.21)	0.69 (0.60 - 0.95)	0.71 (0.61 - 0.97)	-0.52	0.48
2037	0.08 (0.06 - 0.15)	0.10 (0.07 - 0.17)	0.67 (0.60 - 0.91)	0.69 (0.60 - 0.93)	-0.64	0.36
2038	0.07 (0.04 - 0.12)	0.07 (0.05 - 0.14)	0.66 (0.59 - 0.87)	0.57 (0.49 - 0.78)	-0.76	0.24
2039	0.06 (0.03 - 0.09)	0.05 (0.03 - 0.11)	0.65 (0.59 - 0.83)	0.45 (0.39 - 0.63)	-0.87	0.13
2040	0.00 (0.00 - 0.07)	0.04 (0.02 - 0.09)	0.00 (0.06 - 0.13)	0.33 (0.29 - 0.48)	-0.99	0.01
2041	0.00 (0.00 - 0.06)	0.02 (0.01 - 0.07)	0.00 (0.00 - 0.08)	0.22 (0.19 - 0.33)	-1.11	-0.11
2042	0.00 (0.00 - 0.04)	0.01 (0.01 - 0.05)	0.00 (0.00 - 0.05)	0.11 (0.09 - 0.19)	-1.23	-0.23

Tabel 5.3. bodemdalingssnelheid (onzekerheid), belasting en gebruiksruimte voor de kombergingsgebieden Zoutkamperlaag en Pinkegat (mm/jaar) op basis van het Geoptimaliseerde productie profiel volgens tabel 5.4).

5.4. Indien nodig aanpassen productie

De productie vanaf de mijnbouwlocaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen geoptimaliseerd binnen de beschikbare gebruiksruimte. Met inachtneming van de aangepaste gasreserves resulteert dit in een verhoogde productie voor Nes en een lagere productie voor Moddergat. Voor de productie van de Lauwersoog velden is uitgegaan van oorspronkelijk aangenomen gasreserves en productie. In verband met

de huidige lage productie capaciteit van de beide Lauwersoog velden is voor 2009 gepland dat een gedeelte van de productie, die gepland was voor de Lauwersoog velden, wordt geproduceerd door de velden Nes en Moddergat. Uitgebreide productie testen van de twee Lauwersoog velden, gepland in het tweede kwartaal van 2009, zullen uitsluitel moeten geven of de capaciteit in beide velden kan worden verhoogd. Tabel 5.4 toont de jaarlijkse productie (miljoen m³) per voorkomen. Uit de op basis van dit scenario voorspelde waarden voor de bodemdalingssnelheid S en de resulterende belasting B blijkt dat gasproductie volgens het geoptimaliseerde scenario niet zal leiden tot overschrijding van de gebruiksruimte (zie tabel 5.3).

Jaar	Moddergat	Nes	Lauwersoog- Oost	Lauwersoog- West	Lauwersoog- C	Vierhuizen- Oost
2007	383	340	-	-	-	-
2008	311	485	42	85	-	168
2009	433	502	368	342	-	281
2010	454	643	371	364	-	267
2011	348	643	287	296	-	154
2012	198	1028	190	232	-	113
2013	174	1300	142	174	-	75
2014	179	1300	115	140	-	52
2015	88	1258	89	104	-	38
2016	51	1118	70	76	-	26
2017	34	980	58	63	19	16
2018	25	897	66	49	61	10
2019	19	764	96	89	56	5
2020	16	662	79	74	52	12
2021	14	573	66	58	51	8
2022	12	496	56	48	47	9
2023	11	389	48	43	41	6
2024	10	310	43	34	40	6
2025	9	287	38	29	37	1
2026	8	273	35	26	34	-
2027	8	250	36	26	31	-
2028	7	231	36	26	29	-
2029	7	214	34	25	27	-
2030	6	198	33	23	25	-
2031	-	183	32	16	23	-
2032	-	171	31	22	23	-
2033	-	157	29	20	21	-
2034	-	147	19	8	15	-
2035	-	136	-	-	-	-
2036	-	127	-	-	-	-
2037	-	118	-	-	-	-

Tabel 5.4. Geplande (2007 & 2008) en gerealiseerde productie (miljoen m³) per voorkomen overeenkomstig het in 2009 aan te passen productiescenario. Een correctie voor allocatie fouten is toegepast voor 2007. Hierdoor wijkt het geproduceerde gasvolume in 2007 licht af van wat in de Meet- en regelcyclus rapportage 2007 is gerapporteerd.

5.5. Actualiseren

Figuren 5.11 en 5.12 tonen de geactualiseerde verwachte belastingen voor de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag volgens het in tabel 5.4

getoonde productie scenario waarbij voor Ameland het alternatieve geomechanische model is toegepast. Zoals uit onderstaande figuren blijkt, zal de belasting inclusief relatieve zeespiegelstijging volgens scenario vastgelegd in hoofdstuk 4.7 van bijlage 3 van het Rijksprojectbesluit het meegroeivermogen van de kombergingsgebieden pas overschrijden omstreeks 2028, het jaar tot waarin is ingestemd met het winningsplan. Aanpassing van het geomechanische Ameland model resulteert in een significant lagere belasting in figuur 5.11 tot rond 2020 dan voorspeld in het winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (figuur C9). De totale belasting in Pinkegat is na 2020 echter hoger dan voorspeld in het winningsplan. De belasting inclusief relatieve zeespiegelstijging zal volgens de prognose het meegroeivermogen in Pinkegat pas in 2033 overschrijden. In de grafieken is steeds de belasting in een bepaald jaar door een veld, dat op 1 januari van dat jaar nog niet in productie is, gelijk aan nul gesteld. Dit is gedaan om presentatietechnische redenen en niet volledig in overeenstemming met de waarden zoals gepresenteerd in tabel 5.3. In de figuren is tevens de belasting zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclus rapportage 2007 (M&R 2007) voor de jaren 2007 en 2008 weergegeven.

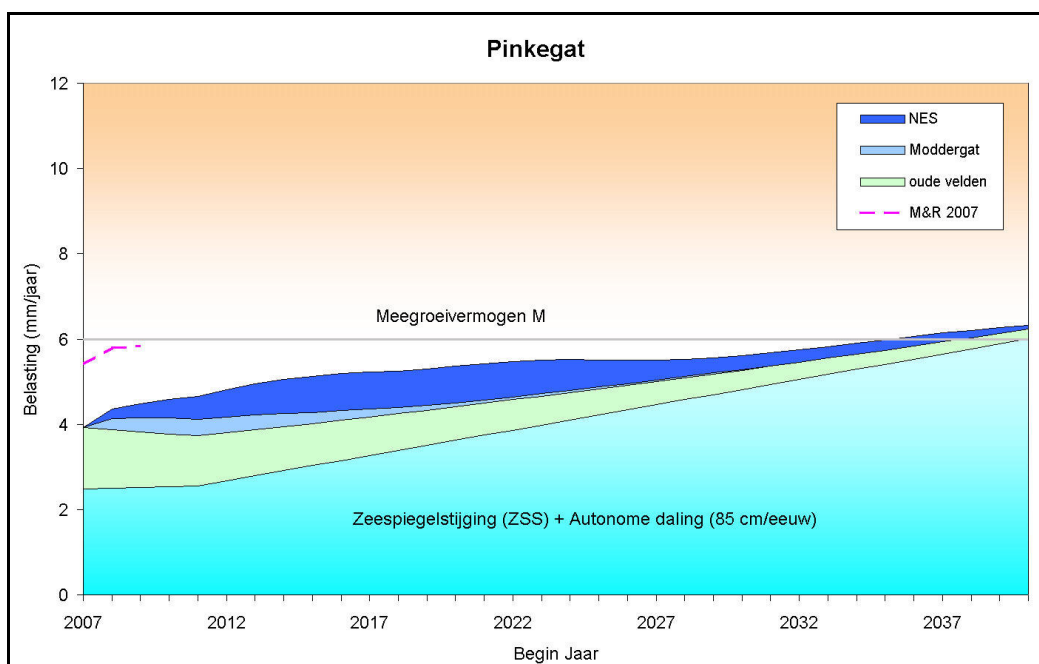


Fig. 5.11. Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging + autonome daling voor het kombergingsgebied Pinkegat.

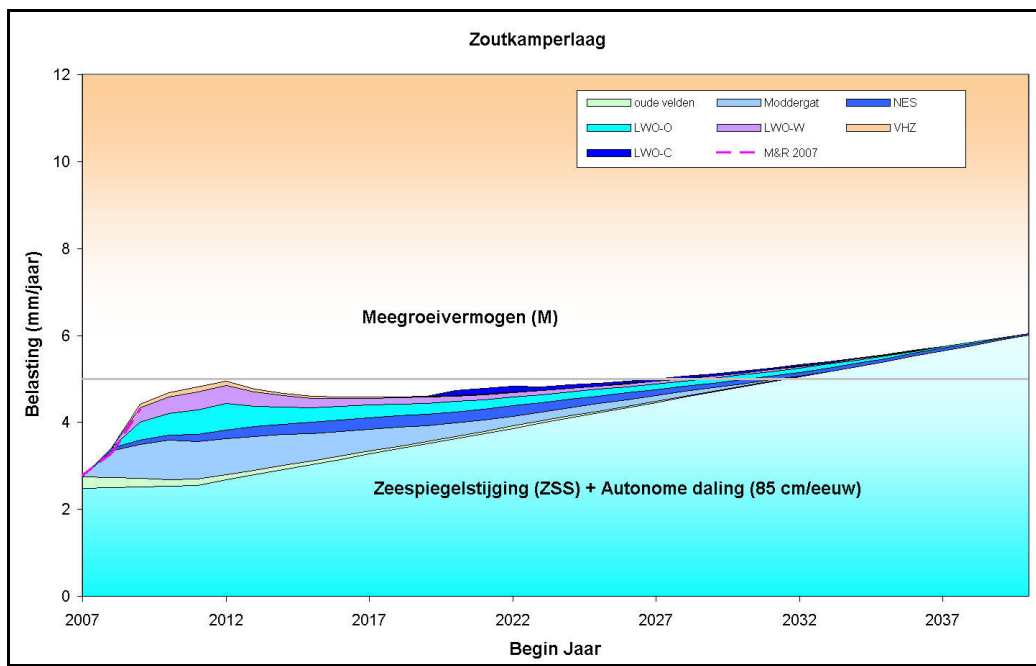


Fig. 5.12. Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging + autonome daling voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag.

5. Conclusies

De belangrijkste conclusies, die volgen uit het doorlopen van de Meet- en regelcyclus 2008, zijn:

- Op de locatie Moddergat is over geheel 2007 & 2008, m.b.v. continue GPS metingen, een bodemdaling van circa 2 mm vastgesteld. Dit is significant minder dan de circa 11 mm, die op basis van de (veilige) prognose verwacht werd. Mogelijke verklaring is dat de druk daling in het watervoerende gedeelte van de reservoirs van de velden Moddergat en Nes veel lager is dan gesimuleerd. Op de locatie Anjum en Ameland komt de gemeten daling binnen de onzekerheidsmarges overeen met de gemodelleerde daling.
- Zolang er nog nagenoeg geen bodemdaling ten gevolge van de gaswinning van de nieuwe voorkomens Nes, Moddergat, Lauwersoog-C, -W & -O en Vierhuizen-O gemeten wordt, worden voor het geomechanische model van deze velden de parameters van de nabij gelegen analoge velden Anjum en Munnekezijl gebruikt. Hoewel inversie berekeningen op basis van de beperkte gemeten bodemdaling aangeven dat de huidige geomechanische modelparameters resulteren in een iets te hoge en daardoor “veilige” gemodelleerde bodemdaling, is kalibratie van modelparameters niet goed mogelijk en zijn de gesteenteparameters voor zo wel de nieuwe Waddenzee velden als de velden in het Anjum en Munnekezijl gebied niet aangepast en identiek gehouden aan hetgeen is beschreven in de Meet- en regelcyclus rapportage 2007.
- De initiële productie en drukdata van de velden Lauweroog–Oost en –West geven aan dat de aangesloten gasreserves en productie capaciteit van de putten mogelijk minder is dan oorspronkelijk aangenomen. Om de geplande totale productie van de Waddenzee velden, zoals aangegeven in het winningsplan, in 2009 te halen, zal mogelijk een gedeelte van de productie, die gepland was voor de Lauweroog velden, worden geproduceerd door de velden Nes en Moddergat. Uitgebreide productie testen van de twee Lauwersoog velden, gepland in het tweede kwartaal van 2009, zullen hier uitslag in moeten geven.
- Op basis van het geproduceerde volume gas in combinatie met de resultaten van de drukmetingen op reservoirniveau is het totale gasvolume van het voorkomen Nes van 13.5 mrd m³ naar 19.2 mrd m³ verhoogd. Voor Moddergat is de verwachtingswaarde van het gasvolume van 4.6 mrd m³ niet bijgesteld.
- Voor de rapportage (deel 1) is uitgegaan van de productie volgens het winningsplan 2006. Dit resulteert in een niet optimaal gebruik van de gebruiksruimte met betrekking tot de toegestane hoeveelheid geproduceerd gas. Daarom is in deel 2 van deze rapportage, vooruitlopend op de Meet- en regelcyclus rapportage van 2009, uitgegaan van een totale productie van de mijnbouwlocaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen voor na 2009 waarbij deze wordt geoptimaliseerd met betrekking tot de beschikbare gebruiksruimte. Dit leidt tot een significante verhoging in productie van met name het voorkomen Nes. Een mogelijke verhoging van jaarvolumes vanaf 2010 zal voor het einde van dit jaar middels een verzoek om wijziging van het winningsplan Moddergat, Lauwersoog, Vierhuizen aan de minister ter instemming worden voorgelegd.
- Voor de modellering van de bodemdaling ten gevolge van de gas productie van de Ameland velden is in de rapportage (deel 1) 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 de bodemdaling in de Waddenzee door gasproductie uit de Ameland velden significant overschat. Daarom is in deel 2 van deze rapportage, vooruitlopend op de Meet- en

regelcyclus rapportage van 2009, het model toegepast dat NAM al geruime tijd als alternatief geomechanisch model hanteert.

- Zoals in de vorige rapportage werd aangekondigd, is in 2008 de door SodM opgezette toetsingsprocedure voor dit nieuwe model doorlopen. Indien rekening wordt gehouden met instabiliteit van peilmerken ten gevolge van mogelijke autonome daling veroorzaakt door compacterende kleien, zoals aangegeven in de studie uitgevoerd door Deltares, voldoet het alternatieve geomechanische Ameland model aan de door SodM opgezette toetsingsprocedure. Voorlopig is voor kalibratie van het alternatieve geomechanische Ameland model echter nog geen rekening gehouden met mogelijke autonome daling wat resulteert in een wat te hoge (en dus veilige) modellering van de bodemdaling ten gevolge van de gas productie van de Ameland voorkomens. De modellering van de bodemdaling met behulp van dit alternatieve geomechanische model resulteert initieel in een significant lagere belasting voor het kombergingsgebied Pinkegat. NAM is voornemens een wijziging op het vigerende winningsplan Ameland, waarin wordt uitgegaan van het alternatieve geomechanische model, voor het eind van dit jaar aan de minister ter instemming voor te leggen.
- De voorspelde belastingen in de kombergingsgebieden Zoutkamperlaag en Pinkegat zullen, inclusief relatieve zeespiegelstijging volgens het scenario vastgelegd in hoofdstuk 4.7 van bijlage 3 van het Rijkspolijct besluit, zal voor 2028, het jaar tot waarin is ingestemd met het winningsplan, het gestelde meegroeivermogen van de kombergingsgebieden niet overschrijden.

Referenties

1. Meet- en regelprotocol Winning Waddenzeegas vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Nederlandse Aardolie Maatschappij BV. EP200612202122.
2. Bodemdalingstudie Waddenzee 2004 – Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd. Rapport RIKZ / 2004.025.
3. MER Aardgaswinning Waddenzeegebied vanaf locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Nederlandse Aardolie Maatschappij BV. Januari 2006.
4. Verzoek om instemming voor winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Nederlandse Aardolie Maatschappij BV. Januari 2006
5. Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, Vastlegging nul situatie, Meetresultaten. Rapport EP200612204999. Nederlandse Aardolie Maatschappij BV. December 2006
6. Meetregister bij de meetplannen Groningen, Noord Nederland en Waddenzee 2007. Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing Noord Nederland 2008; rapport EP200703206659, 01 april 2009.
7. de Jong, J.W.: Procedureafpraak waterpassingen. Brief aan de NAM, 18 augustus 2005.
8. 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.
9. GPS Survey NAM Waddenzee v. 1.12. 06-GPS B.V., 04/2009.
10. Hoogte aansluiting GPS meting Waddenzee 2008. Fugro-Inpark B.V., 04/2009.
11. Continue GPS hoogtemetingen AME-1, Moddergat en Anjum. Rapportage Februari 2009. EP200903230643. NAM, 02/2009.
12. Meetregister bij het Meetplan Waddenzee 2007. Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing Ameland 2008. EP200805245618. NAM, 29 Augustus 2008.
13. 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.
14. MOVE3, Grontmij B.V., URL: <http://www.grontmij.nl/site/nl-nl/Diensten/GIS+en+ICT/Softwareproducten/MOVE3.htm>
15. NLGEO2004: het geoïdemodel voor Nederland. Data-ICT-Dienst, Rijkswaterstaat, URL: <http://www.rdnep.nl/algemeen/hoogte/geoide.html>
16. Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en Regelcyclus 2006; Rapport EP20612205324, september 2007.
17. Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en Regelcyclus 2007; Rapport EP200803216458, 29 april 2008.
18. Iteratieve voorwaartse modellering van bodembeweging. Dr. Ir. A.J.H.M. Duquesnoy, Staatstoezicht op de Mijnen, april 2008.
19. Differentiële bodemdaling als gevolg van compactie in de ondiepe tot matig diepe ondergrond van Ameland-Oost. Deltares 2009-U-R91011.

The map displays the Lauwersmeer area with bathymetric contours and land use zones. Key features include:

- Bathymetry:** Contour lines indicating depth, with values ranging from 0.1 to 2.6 meters.
- Land Use Zones:** Green areas represent land, while blue areas represent water. Specific zones labeled include Ameland Westgat, Ameland Oost, Lauwersoog West, Lauwersoog Oost, and Eilanderbaag.
- Infrastructure:** Roads and waterways are shown, with labels for 'Pinkegat' and 'Borddiep'.
- Place Names:** Various locations are marked, including Ameland Westgat, Ameland Oost, Lauwersoog West, Lauwersoog Oost, Eilanderbaag, Pinkegat, Borddiep, and several smaller islands and villages like Eilanderbaag, Pinkegat, and Borddiep.
- Coordinate Grid:** The map is overlaid with a coordinate grid, with X-axis values ranging from 185000 to 215000 and Y-axis values ranging from 615000 to 619000.

43

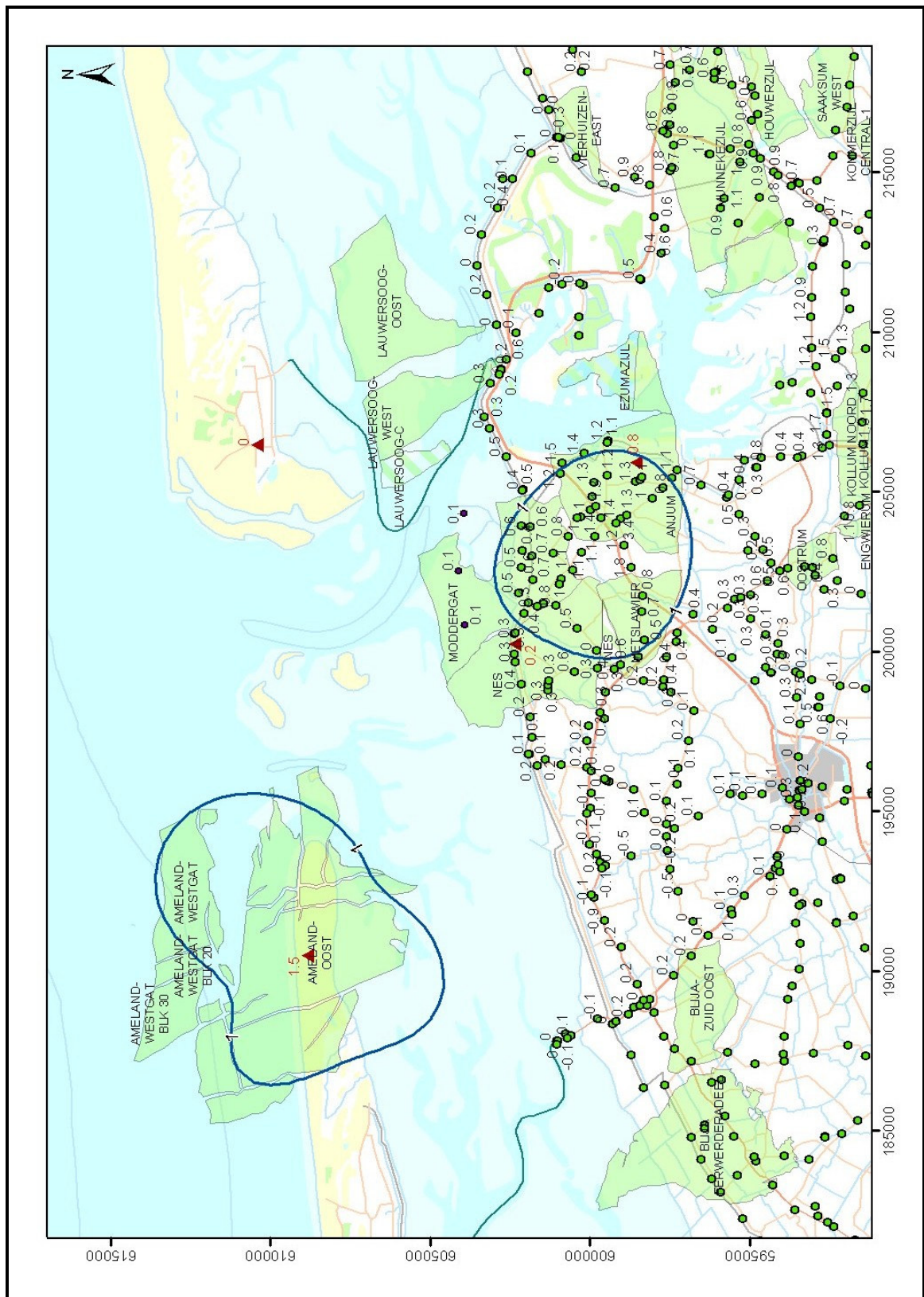


Fig 3.1 Gemodelleerde bodemdaling door gaswinning en gemeten bodemdaling op de peilmerken in 2008 sinds nulmeting 2006. Voor Ameland is WP2003 model toegepast.

Bijlage 2. Bewerking stabiliteitsonderzoek

Op basis van de waterpassingen 2006 en 2008 is het 'relatief meest stabiele' peilmerk per cluster bepaald. Dit gebeurt middels een analyse van het voorteken van de onderlinge hoogteverschillen (kolom 2-4 tab 2.1) en resulteert in een volgorde per cluster (kolom 5 tab 2.1).

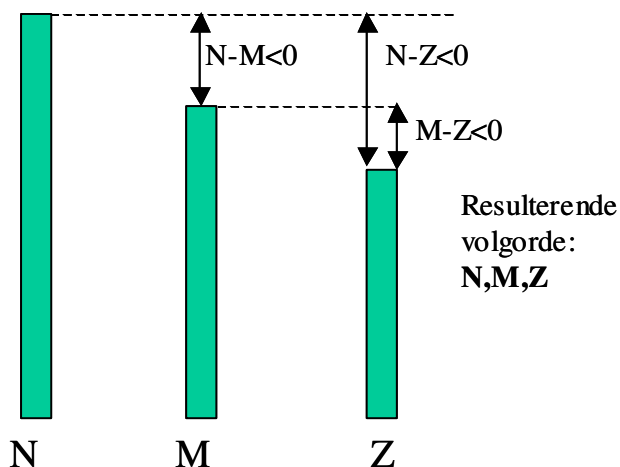


Fig. 2.1 Voorbeeld bewerking volgorde peilmerk stabiliteit per cluster.

Tot slotte worden de relatieve bewegingen van de twee overige peilmerken t.o.v. het relatief meest stabiele peilmerk berekend (kolom 6,7 tab 2.1).

Locatienaam	Verskil met HV N-M 2006	Verskil met HV M-Z 2006	Verskil met HV N-Z 2006	Volgorde stabiliteit	1te-3de	1te-2de
M001	-0.002	-0.001	-0.003	N,M,Z	0.003	0.002
M002	0.003	-0.008	-0.005	M,N,Z	0.008	0.003
M003	0.000	-0.004	-0.004	M,N,Z	0.004	0.000
M004	-0.008	0.003	-0.005	N,Z,M	0.008	0.005
M005	0.004	0.003	0.007	Z,M,N	0.007	0.003
M006	0.001	-0.003	-0.002	M,N,Z	0.003	0.001
M007	0.006	-0.003	0.003	M,Z,N	0.006	0.003
M008	0.040	-0.007	0.033	Z,M,N	0.040	0.007
M009	0.005	0.000	0.004	M,Z,N	0.005	0.000
M010	-0.001	0.000	-0.002	N,M,Z	0.002	0.001
M011	0.002	-0.007	-0.006	M,N,Z	0.007	0.002
M012	-0.002	0.006	0.004	Z,N,M	0.006	0.004
M013	0.009	-0.004	0.005	M,Z,N	0.009	0.004
M014	middenpunt niet gevonden	middenpunt niet gevonden	0.000		0.000	
M015	-0.006	0.010	0.004	Z,N,M	0.010	0.004
M016	0.001	0.004	0.005	Z,M,N	0.005	0.004

Tabel 2.1 Resultaten bewerking volgorde peilmerk stabiliteit per NAM cluster en berekening relatieve bewegingen t.o.v. het relatief meest stabiele peilmerk voor de periode 2006-2008 (waarden in dimensie [m]).

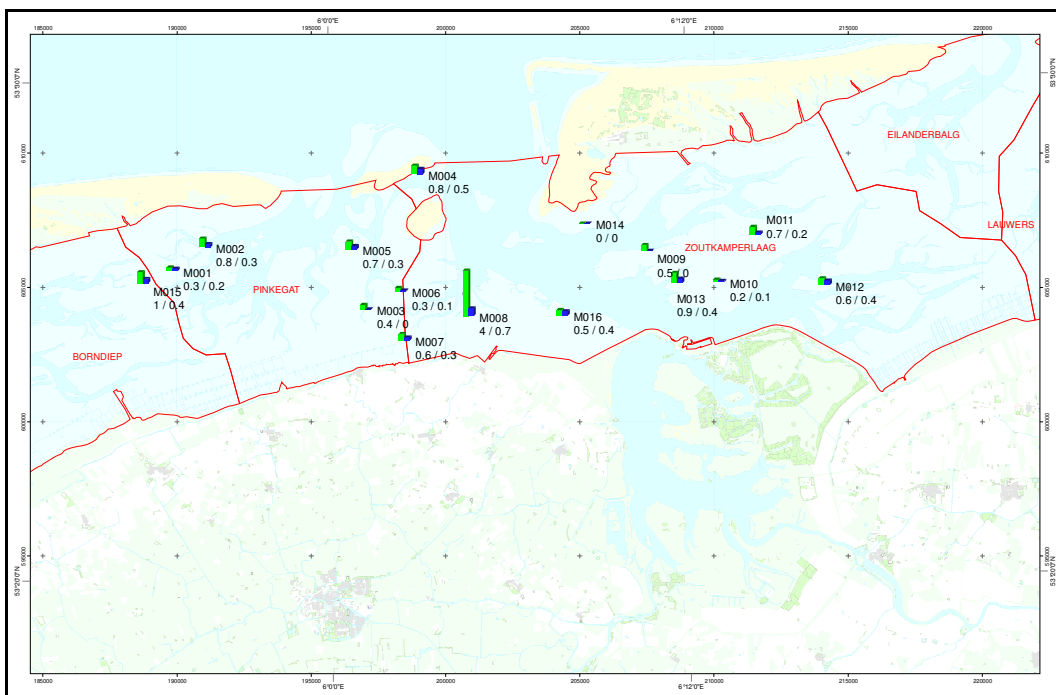


Fig. 2.2 Relatieve peilmerkbeweging 2006-2008 t.o.v. het meest stabiele peilmerk per NAM cluster (waarden in dimensie [cm]).

Voor Peilmerk M002 zijn ook in 2007 de onderlinge hoogteverschillen gewaterpast. De relatieve stabiliteit tussen 2007 en 2008 voor deze cluster is in tabel 2.2 weergegeven.

Locatienaam	Verskil met HV N-M 2007	Verskil met HV M-Z 2007	Verskil met HV N-Z 2007	Volgorde stabiliteit	[1te-3de]	[1te-2de]
M002	0.001	-0.002	-0.001	M,N,Z	0.002	0.001

Tabel 2.2 Resultaat bewerking volgorde peilmerk stabiliteit per NAM cluster en berekening relatieve bewegingen t.o.v. het relatief meest stabiele peilmerk voor de periode 2007-2008 (waarden in dimensie [m]).

Zoals beschreven in paragraaf 5.1 is een vergelijkbare onderzoek voor de RWS clusters uitgevoerd op basis van historische metingen en de NAM 2006 waterpassing. De resultaten van deze bewerking worden in tabel 2.3 getoond.

Locatienaam	Verskil met HV N-M Hist	Verskil met HV M-Z Hist	Verskil met HV N-Z Hist	Volgorde stabiliteit	[1te-3de]	[1te-2de]
002C0028	0.000	-0.001	-0.001	N,M,Z	0.001	0.000
002C0031	0.000	-0.001	-0.001	N,M,Z	0.001	0.000
002C0065	0.000	0.000	0.000	N,M,Z	0.000	0.000
002D0056	0.003	-	-		0.003	
002D0050	0.000	0.000	0.000	N,M,Z	0.000	0.000
002C0035	0.001	-0.001	0.000	M,Z,N	0.001	0.001
002D0061	0.000	0.000	-0.001	N,M,Z	0.001	0.000
002D0065	0.058	0.013	0.071	Z,M,N	0.071	0.013
002D0068	0.041	-0.006	0.035	M,Z,N	0.041	0.006
002G0043	0.004	0.002	0.006	Z,M,N	0.006	0.002
002G0047	-0.017	0.021	0.004	Z,N,M	0.021	0.004
002G0050	0.000	0.010	0.009	Z,M,N	0.010	0.010
002H0036	0.000	-0.002	-0.002	M,N,Z	0.002	0.000
002H0039	0.001	-0.001	0.000	M,N,Z	0.000	0.001
002H0044	0.000	-0.001	-0.001	M,N,Z	0.001	0.000
002H0059	0.006	-0.061	-0.055	M,N,Z	0.061	0.006

Tabel 2.3 Bewerking volgorde peilmerk stabiliteit per RWS cluster en berekening relatieve bewegingen t.o.v. het relatief meest stabiele peilmerk (waarden in dimensie [m]).