



Bodemdaling en gaswinning

J.M. Marquenie en D. Doornhof



Foto: Ineke Katerberg

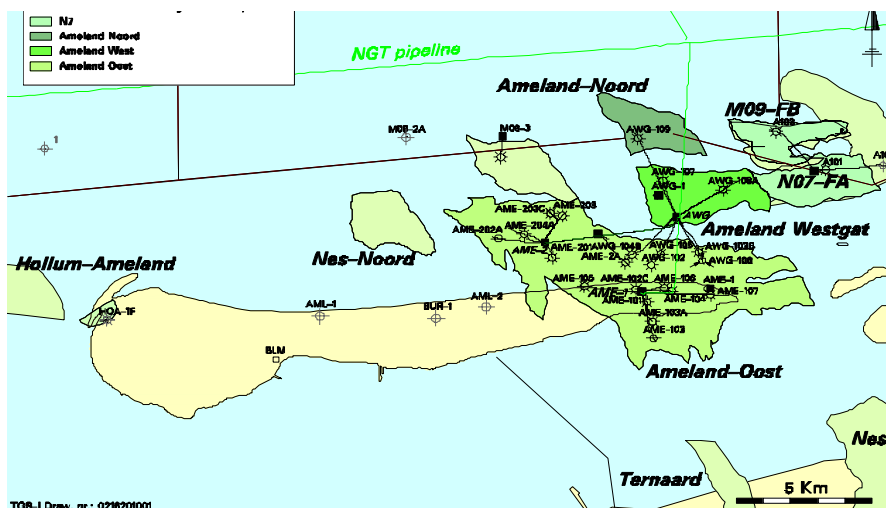
1. Bodemdaling

1.1. Korte beschrijving van de winning

De gasvelden zijn gelegen op een diepte tussen de 3300 en 3600 meter ([figuur 1.1](#)). Het gas wordt gewonnen via verschillende installaties die gelegen zijn in zee en op land. Het zogenaamde moederplatform heet Ameland-Westgat (AWG). Hier wordt het gas transportklaar gemaakt (gedroogd en gecompriëerd). De druk is inmiddels zo laag dat het gas ook gecompriëerd moet worden tot een druk die hoger is dan die in de transportleiding (> 80 Bar). Ook de compressoren staan op AWG. Het platform is continu bemand en alle benodigde energie wordt ter plekke opgewekt. Het vrijkomende water (productiewater) wordt in principe teruggevoerd in de ondergrond. Bij storingen of onderhoud wordt dit water van olie ontdaan tot beneden de wettelijke norm van 40 mg/l en geloosd op zee.

Het Amelandveld is zo groot dat niet het gehele veld via AWG of de landlocatie aangeboord en gewonnen kan worden. Er zijn daarom 2 hulpinstallaties van waar putten zijn geboord: de landlocatie Ameland-Oost (AME/1) en een offshore satelliet (AME/2).

Figuur 1.1
Overzicht van de verschillende gasvelden onder Ameland, geboorde putten en installaties. De monitoring heeft betrekking op gas dat wordt gewonnen uit de velden Ameland-Oost en Ameland-Westgat.



Het gas wordt na behandeling en compressie afgevoerd via de “Noord-Gas Transportleiding” (NGT) naar Uithuizermeden. Enigszins naar het westen staat een derde structuur in zee, de zogenaamde monopile N7. Het plan is om de monopile N7 in de toekomst via een pijpleiding met AWG te verbinden.

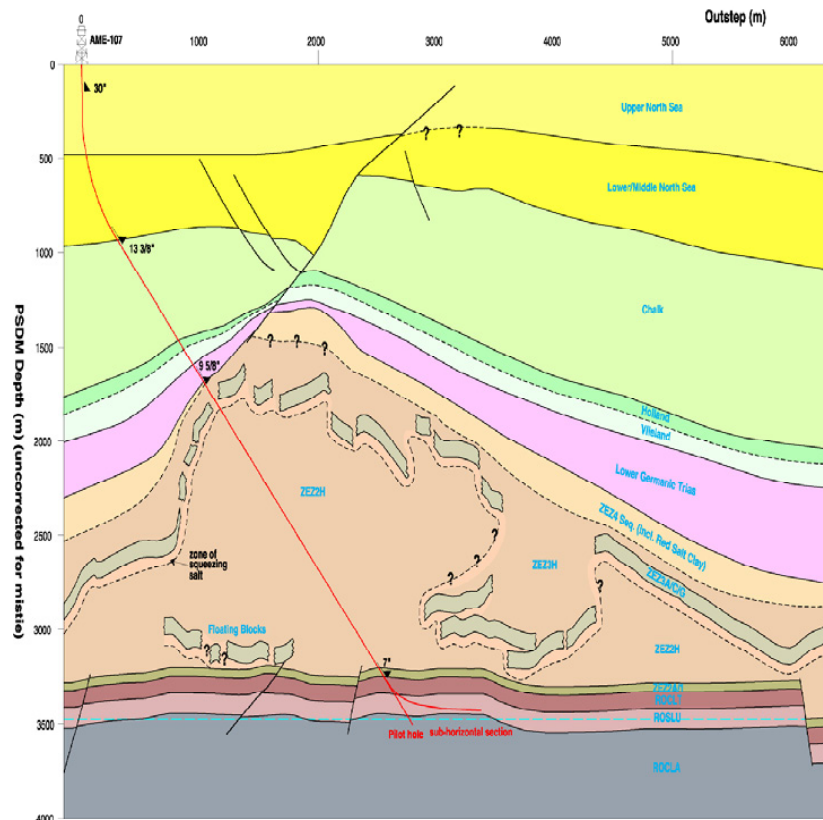
De productie van het Ameland gas is begonnen in 1986. De verwachte einddatum van de productie is 2020.

1.2. Geologische beschrijving van het gasveld

Het gas is gevormd in de koollagen van het geologische tijdperk Carboon. Vervolgens is het gas gemigreerd naar bovenliggende zandsteenlagen in het Rotliegend. De voorkomens worden afgesloten door het zout van de Zechstein-formatie.

De navolgende tekening geeft de geologische doorsnede door het gasveld Ameland-Oost weer ([figuur 1.2](#)). De geologische doorsneden van de gasvelden Ameland-Westgat en Noord zijn hiermee vergelijkbaar.

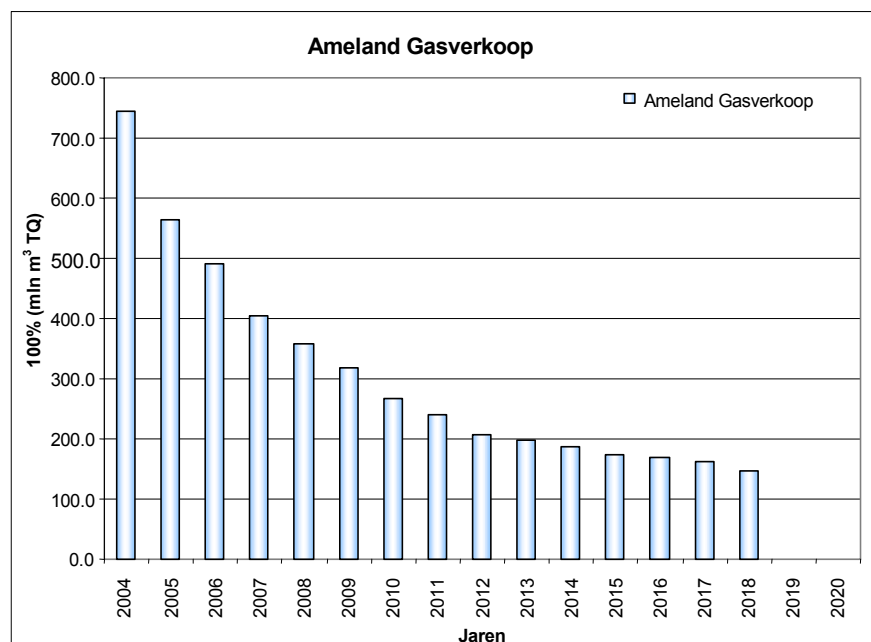
Figuur 1.2
Een schematische doorsnede van de aardlagen onder Ameland-Oost. De ophoping van zout (in roze weergegeven) bleek verantwoordelijk voor een afwijking tussen eerdere prognoses en de daadwerkelijke bodemdaling.



1.3. Omvang van de winning

Er is reeds veel gas gewonnen op Ameland. De druk is daardoor afgenomen van ruim 600 Bar tot minder dan 100 Bar. Ook de stroomsnelheid van het gas is hierdoor sterk verminderd. De huidige verwachting van de hoeveelheid alsnog te produceren gas is in de hierna volgende grafiek weergegeven (**figuur 1.3**).

Figuur 1.3
De voorspelde
gasproductie van de
velden Ameland –Oost
en Ameland-Westgat
voor de periode 2004
tot 2020.



De totale gasproductie kan ruwweg worden onderverdeeld in een bijdrage van 70% uit het Ameland-Oost deel van het veld en 30% uit het Ameland-West deel. Momenteel wordt uit het Ameland-Noord deel nog niet geproduceerd.

De onzekerheidsmarge is groot en afhankelijk van eventueel nieuw aan te sluiten productieputten. Tevens is het gedrag van de bestaande putten bij de lage drukken die optreden wanneer het veld bijna leeg is, moeilijk te voorspellen.

Afwijkingen van de voorspelling door onvoorziene omstandigheden zijn daardoor zeer reëel. Die omstandigheden kunnen zoals aangegeven van reservoir technische, maar ook van economische aard zijn en hebben gevolgen voor zowel de fasering als voor de verwachte hoeveelheid productie. De totale hoeveelheid te produceren gas ligt binnen een onzekerheidsmarge van $\pm 20\%$ en dat werkt door in een prognose van de alsnog te verwachten bodemdaling.

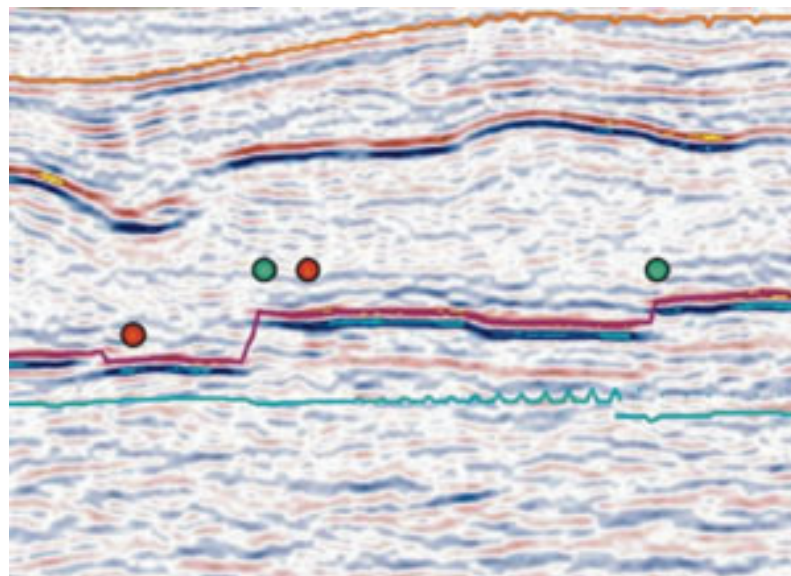
1.4. Soorten van bodembeweging in relatie tot gaswinning

Het begrip bodembeweging wordt op 2 manieren gebruikt: de snelheid van het proces (geleidelijk of met schokken) en de omvang van de daling (volume).

1.4.1. Bodemtrilling

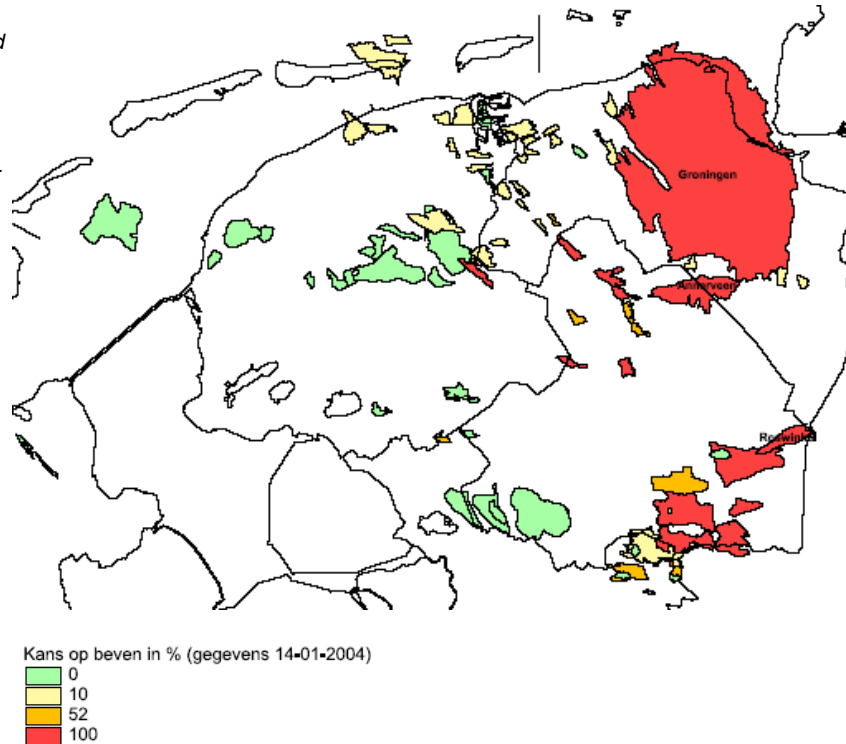
Door de drukdaling treedt compactie op van de gasvoerende lagen. Dit kan onderlinge beweging tussen gesteentelagen veroorzaken. Als de breukvlakken in elkaar grijpen en niet makkelijk schuiven, kan dit gepaard gaan met trillingen of schokken (**figuur 1.4**). Dit kan zich aan de oppervlakte manifesteren in de vorm van bodemtrilling.

Figuur 1.4
In een seismische sectie (Noordoost Nederland) geven stippen de plaatsen aan waar aardschokken - ongeveer - op het niveau van het gasreservoir zijn gemeten; vaak zijn het schokken bij geologische breuken in het reservoir (paarse lijn). (uit www.delftintegraal.tu-delft.nl/info)



TNO-NITG, TNO Bouw en het KNMI hebben de afgelopen twee jaar een aantal studies uitgevoerd, bedoeld om de aspecten die invloed hebben op het seismisch risico ten gevolge van bevingen, geïnduceerd door de olie- en gaswinning, systematisch in kaart te brengen en het risico op basis van de nu bekende kennis en gegevens te kwantificeren. Het rapport en de kaarten zijn via het internet in pdf-formaat beschikbaar (www.geofoon.nl). De kans op aardtrillingen onder Ameland wordt geschat op minder dan 10% en zijn tot op heden daar niet eerder waargenomen (**figuur 1.5**).

Figuur 1.5
 Kanskaart van noord
 Nederland voor
 bodemtrillingen ten
 gevolge van
 gaswinning (ontleed
 aan www.geofoon.nl).



1.4.2. Bodemdaling

Door de winning van aardgas uit gasvoerende gesteentelagen zal de druk in de poriën van het gesteente verminderen waardoor compactie van de gasvoerende lagen optreedt. Dit manifesteert zich aan de oppervlakte in de vorm van bodemdaling. Zie voor een uitgebreide beschrijving van het bodemdalingproces "Bodemdaling door Aardgaswinning – Groningen veld en randvelden in Groningen, Noord Drenthe en het Oosten van Friesland – Status Rapport 2000 en Prognose tot het jaar 2050" (NAM 2000 02 000410).

Gebaseerd op beschikbare gegevens over de ondergrond en het productiescenario zoals hierboven beschreven is een prognose voor de bodemdaling ten gevolge van gaswinning voor de beschreven velden gemaakt. Er zijn daarbij 2 soorten van gegevens van belang: wat is het volume van de bodemdaling, of te wel hoeveel zand en slib is nodig om de bodemdaling weer ongedaan te maken (kust en wadplaten), wat is de uiteindelijke daling van het maaiveld op plaatsen waar nauwelijks of geen of nauwelijks compensatie door aanslibbing of instuiving van zand optreedt (duinen en natte duinvalleien) en wat is de bodemdalingsnelheid op plaatsen waar de opslibbing maat beperkt plaats vindt (midden en hoge kwelder).

De oorspronkelijke prognose dateert uit 1985. Prognoses worden bijgesteld indien betere invoergegevens beschikbaar komen. Dergelijke invoergegevens hebben betrekking op kennis van het reservoir op basis van productiegegevens en nieuwe boringen, opbouw van bovenliggende lagen en nieuwe verwachtingen ten aanzien van einddruk. Nieuwe invoergegevens leiden niet altijd tot een betere beschrijving van de bodemdaling. Om die reden worden berekeningsuitkomsten altijd vergeleken met de daadwerkelijke metingen. Op deze wijze zijn verschillende prognoses voor de bodemdaling gemaakt. De voorlaatste prognose dateert uit 1998 en bedroeg 28 cm ± 6 cm. In 2004 werd deze middenwaarde bereikt en is onder meer voor het openbaar te verschijnen winningsplan een nieuwe prognose gemaakt.

De bodemdaling wordt om het jaar gemeten en bedroeg in 2003 27 cm in het centrum van de schotel en deze contouren zijn gebruikt voor een herijking van het model. Voor deze prognose is gebruik gemaakt van een eindig elementen model. In het model is het haliet zout van de Zechsteinformatie als een viskeus medium aangenomen. Het zeer heterogene Ameland reservoir (boven Rotliegendes) is onderverdeeld in 6 lagen, elk met een eigen compressibiliteitsverdeling, die een functie is van de porositeit. Deze gesteentesterkte is gekalibreerd met de gemeten bodemdaling tussen 1998 en 2003, en valt binnen de range van waarden die in het laboratorium zijn gemeten.

Enkele algemene kentallen van de in het winningsplan beschreven voorkomens zijn samengevat in [tabel 1.1](#). Deze (gemiddelde) kentallen reflecteren een zeer vereenvoudigd model van de gasvoorkomens. Hierin wordt het gasvoerend reservoir beschreven als een elliptische cilinder met een halve lange as $R_{\max}$ en een halve korte as $R_{\min}$ en met als hoogte de dikte van het reservoir. In de berekeningen die ten grondslag liggen aan de in dit winningsplan gepresenteerde contourkaarten zijn vanzelfsprekend de werkelijke reservoirstructuur, drukdata uit een reservoirsimulatie en de invloed van de eventueel aanwezige watervoerende lagen (aquifers) meegenomen.

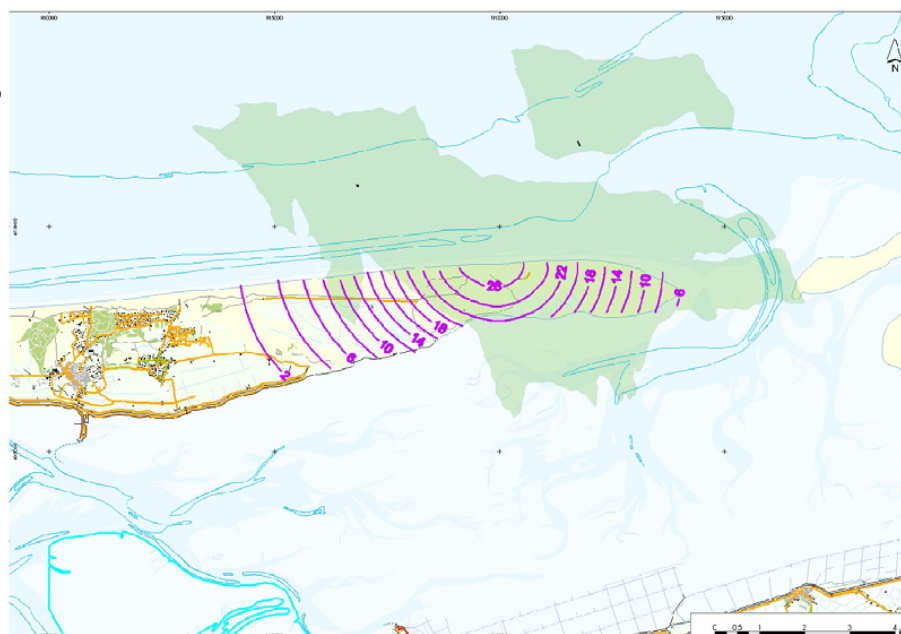
Tabel 1.1
Kentallen voor de
bodemdalingsprognose
voor Ameland.

	Ameland-Oost	Ameland-Westgat
Diepte veld [m]	3350	3350
Dikte reservoir [m]	115	90
Initiële Druk [bar]	570	570
Eind druk [bar]	60	120
$R_{\max}$ [km]	6	2.75
$R_{\min}$ [km]	2.5	1
C_m [10^{-5} bar^{-1}]	0.3-1.9	0.3-1.1

Uit calibratie van het model met de gemeten bodemdaling voor 2003 ([figuur 1.6](#)), volgt dat de aquifer ten zuidoosten van het reservoir in depletie waarschijnlijk achterloopt bij het gasvoerend deel van het reservoir. De bodemdaling die voor het oosten van het eiland berekend wordt, is namelijk meer dan de werkelijk gemeten bodemdaling.

Voor de nog te verwachten bodemdaling is aangenomen dat deze aquifer alsnog zal depletieren.

Figuur 1.6
Contouren voor de in
2003 gemeten
bodemdaling (in cm) op
het eiland als gevolg
van gaswinning uit alle
voorkomens in dit
gebied.



De uiteindelijk, totaal te verwachten bodemdaling door gaswinning (na beëindiging van de winning in 2020) uit de in het winningsplan beschreven gasvelden bedraagt circa 34 cm in het centrum van de bodemdalingsskom, berekend vanaf het begin van de gaswinning. De onzekerheid van de berekening is bepaald op ± 3 cm. Eventuele ontwikkeling van nieuwe gasvelden (bijvoorbeeld N7) in de buurt van Ameland-Oost en -Westgat en/of aanvullende productie door nieuwe putten en/of toepassen van compressie op bestaande velden die behoren tot Ameland-Oost (AME/1) en Ameland-Westgat (AWG) zijn niet meegenomen in de huidige prognose en kunnen leiden tot een ander beeld. Ook de mogelijk toekomstige ontwikkeling van de gasvelden die ten zuiden en zuidoosten van Ameland onder de Waddenzee liggen (Paesens, Nes en Lauwersoog) is niet meegenomen.

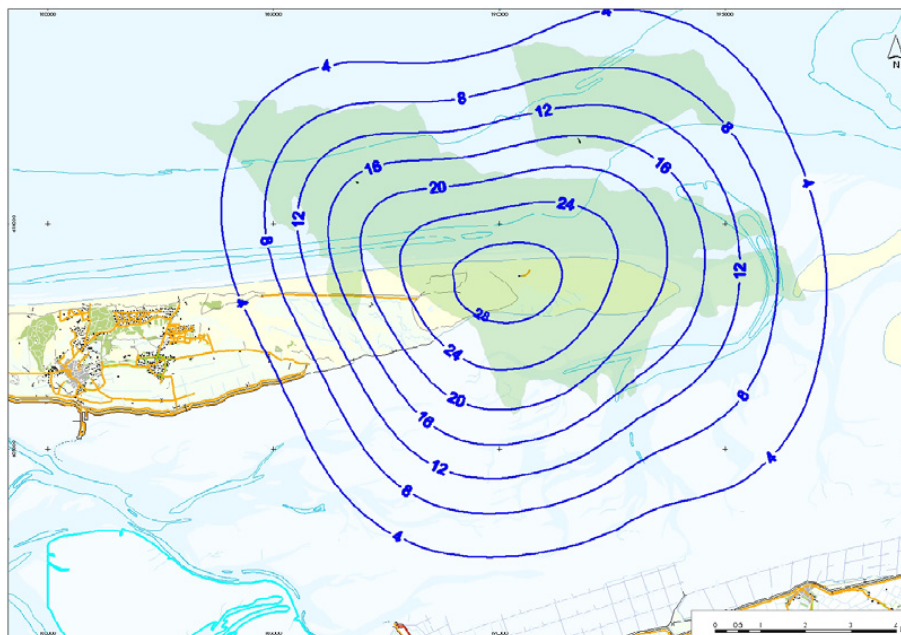
De schatting van 34 cm (maximaal 37 cm) is echter reeds meer dan de oorspronkelijke schatting van de bodemdaling in 1985, die 26 cm bedroeg ± 6 cm. De bandbreedten van beide berekeningen overlappen deels.

Tabel 1.2
Schatting van de
bijdrage van de
uiteindelijke
bodemdaling aan de
zandhonger.

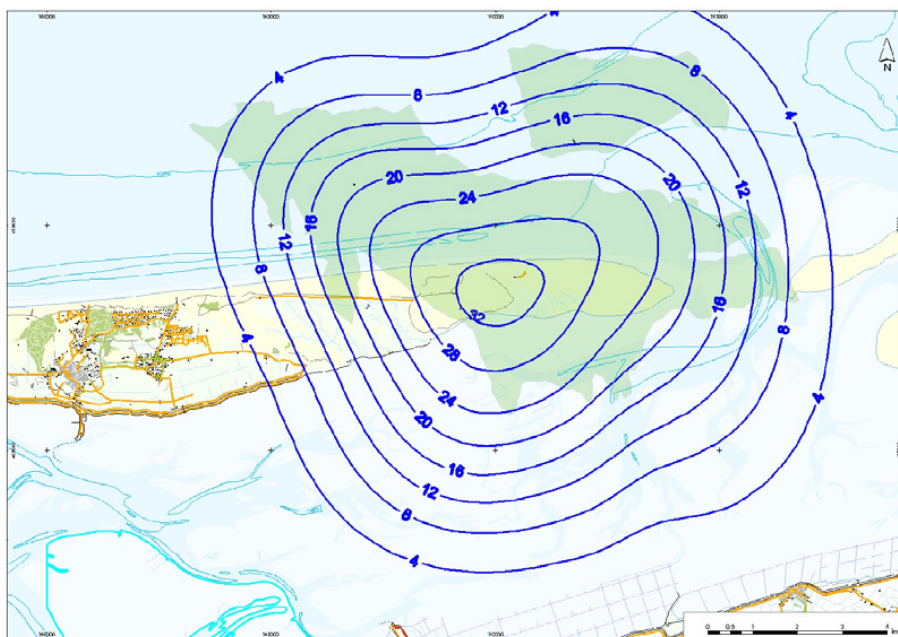
Prognose	Diepte in cm	Omvang (10^6 m^3)	Bijdrage zandhonger (10^6 m^3)
1985	21-31 (26)	28	22,5
1991	14-22 (18)	18	14,5
1998	28-32 (28)	14-18	10
2003	31-37 (34)	22	14

Omdat de voorspelling van de effecten, op basis waarvan de Commissie haar werk heeft aangevangen, gebaseerd was op 26 cm bodemdaling, heeft de Commissie verzocht voor de extra bodemdaling een aanvullende voorspelling te maken van de mogelijke effecten op de kwelder. Hiervoor was het van belang onderscheid te maken tussen de periode tot 2010 en na 2010 tot 2020. De contourlijnen voor de berekende bodemdaling tot 2010 worden gegeven in [figuur 1.7](#) en voor de bodemdaling tot 2020 in [figuur 1.8](#). Het gaat hierbij met name om de eindwaarde en om de afname van bodemdalingsnelheid op de kwelders. Daarnaast gaat het om de totale omvang van de bodemdaling op het wad en in de kustzone.

Figuur 1.7
Bodemdalingprognose
voor 2010 voor beide
delen van het gasveld
(aangegeven in groen).
Voor de daling in het
gebied is geen effect
van aanslibbing
meegenomen. De
bodemdalingsnelheid
bedraagt gemiddeld ca.
0.7 cm per jaar voor de
periode 2003-2010. De
contourlijnen geven de
bodemdaling in cm.



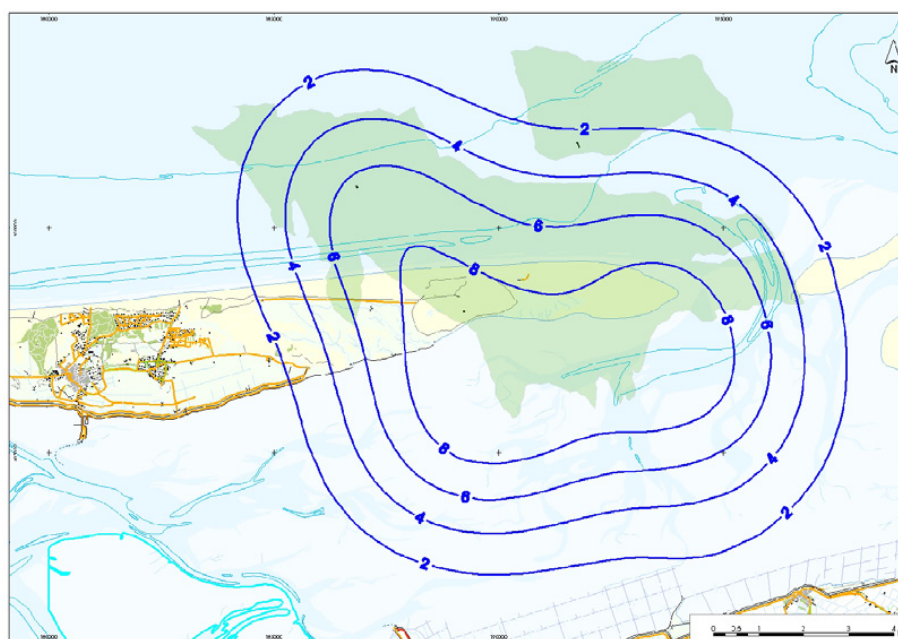
Figuur 1.8
Bodemdalingprognose voor 2020 voor beide delen van het gasveld (in groen). Voor de daling in het gebied geen effect van aanslibbing meegenomen. De resterende bodemdalingsnelheid na 2010 bedraagt gemiddeld tot 2020 0.4 cm per jaar. De contourlijnen geven de bodemdaling in cm.



Voor de verfijning van de monitoring gedurende de komende jaren is het voorts van belang zo goed mogelijk te weten welke bodemdaling nog zal volgen en of de vorm van de bodemdalingschotel zal veranderen. Om die reden is in onderstaande figuren de nog te verwachten bodemdaling weergegeven tussen 2003 en 2020 en is daarbij onderscheid gemaakt tussen de velden Ameland-Oost ([figuur 1.9](#)) en Ameland-Westgat ([figuur 1.10](#)). Door de gevolgde werkwijze ontstaat een transparant beeld van zowel het geheel van de daling als van de verschillende onderdelen.

Opvallend van deze analyse is dat de verdere verdieping van de schotel een zeer geleidelijk en vlak patroon zal volgen met een relatief groot en vlak gebied met een daling van 8-10 cm. Nieuwe boringen en ontwikkelingen op Ameland-Westgat hebben geen directe gevolgen voor de kwelders op Ameland of de wadplaten, maar zijn wel onderdeel van de totale zandbalans.

Figuur 1.9
Verwachte bodemdaling (2003-2020) voor het voorkomen Ameland-Oost. De nog te verwachten bodemdaling bedraagt circa 10 cm in het diepste punt.



*Figuur 1.10
Verwachte
bodemdaling (2003-
2020) voor het
voorkomen Ameland-
Westgat. De nog te
verwachten
bodemdaling bedraagt
circa 8 cm in het
diepste punt.*

