

# BODEMDALING WADDENZEE 1977-2011



06-12-  
2011

## Precisie en betrouwbaarheid uit metingen

Er is nog nauwelijks bodemdaling door gaswinning uit de nieuwe Waddenvelden gemeten. Het Nesveld bevat drie maal zoveel gas als gedacht. De daling boven Ameland zwakt onvoldoende af. Productie met de hand aan de kraan werkt niet.



## SAMENVATTING

Hoe staat het met de bodemdaling door gaswinning rond de Waddenzee? Is bodemdaling op de Waddenzee werkelijk beheersbaar door winning met de 'Hand aan de kraan'? Deze en andere vragen zijn onderzocht in een analyse van de metingen rond de Waddenzee tot over de periode 1977-2011.

Vaststelling van de bodemdaling ten oosten van het Lauwersmeer is ernstig verstoord door een systematische fout in de waterpassing van 2003. De controles van Rijkswaterstaat en Staatstoezicht op de Mijnen zijn onvoldoende gebleken om dergelijke fouten uit te sluiten. Een meettechnische verklaring voor de fout is niet gevonden. Geknoei met de meetgegevens kon niet worden uitgesloten.

Boven de in 2007 begonnen gaswinning uit de Waddenvelden is nog weinig bodemdaling gemeten. De onzekerheid in de voorspellingen is dusdanig groot, dat daaruit niet geconcludeerd mag worden dat de bodemdaling ook in de nabije toekomst onder de verwachting zal blijven. Het Nesveld bevat driemaal zoveel gas als oorspronkelijk gedacht. De bodemdaling daar ter plekke zal daardoor in beginsel ook driemaal groter zijn. De meetpunt dichtheid op het Wad is te laag om de belasting van de Waddenvelden op het Wad voldoende nauwkeurig te kunnen volgen.

De bodemdaling door gaswinning uit oudere velden rond het Lauwersmeer is opgelopen tot 9 cm bij Zoutkamp en 8 cm bij Anjum. Op de beide plaatsen daalt de bodem nog met ongeveer een halve centimeter per jaar.

De bodem op Ameland is 36 cm gedaald. De daling neemt met 1 cm per jaar toe. Uiteindelijk zal de daling op Ameland meer dan 42 cm bedragen.

Bodemdalingvoorspellingen blijken zelfs voor gasvelden, die na 25 jaar winning bijna leeg zijn, nog buitengewoon onbetrouwbaar te zijn. Ook de recent herziene voorspellingen van de bodemdaling door gaswinning uit de Ameland- en Waddenvelden onderschatten de bodemdaling in de latere productiefasen nog fors.

Zolang de bewijslast bij schade niet is omgekeerd, houdt de gasproducent het voordeel van de twijfel en loont het onzekerheden in de relatie tussen winning en daling juist niet te verkleinen. De verplichting om peilmerkdaling op een minder precieze manier uit de metingen te berekenen en in onbruikbare vorm te publiceren houdt de onzekerheden onnodig groot. Publicatie van geomechanisch gemodelleerde in plaats van gemeten bodemdaling verdoezelt bovendien de subjectieve invloed van de gasproducent.

Ondanks decimering van de winning uit de gasvelden Ameland en Anjum liep de snelheid van de bodemdaling maar met de helft terug. De beheersbaarheid van bodemdaling door gaswinning via 'productie met de hand aan de kraan' is een eenduidig door alle metingen weerlegde utopie.

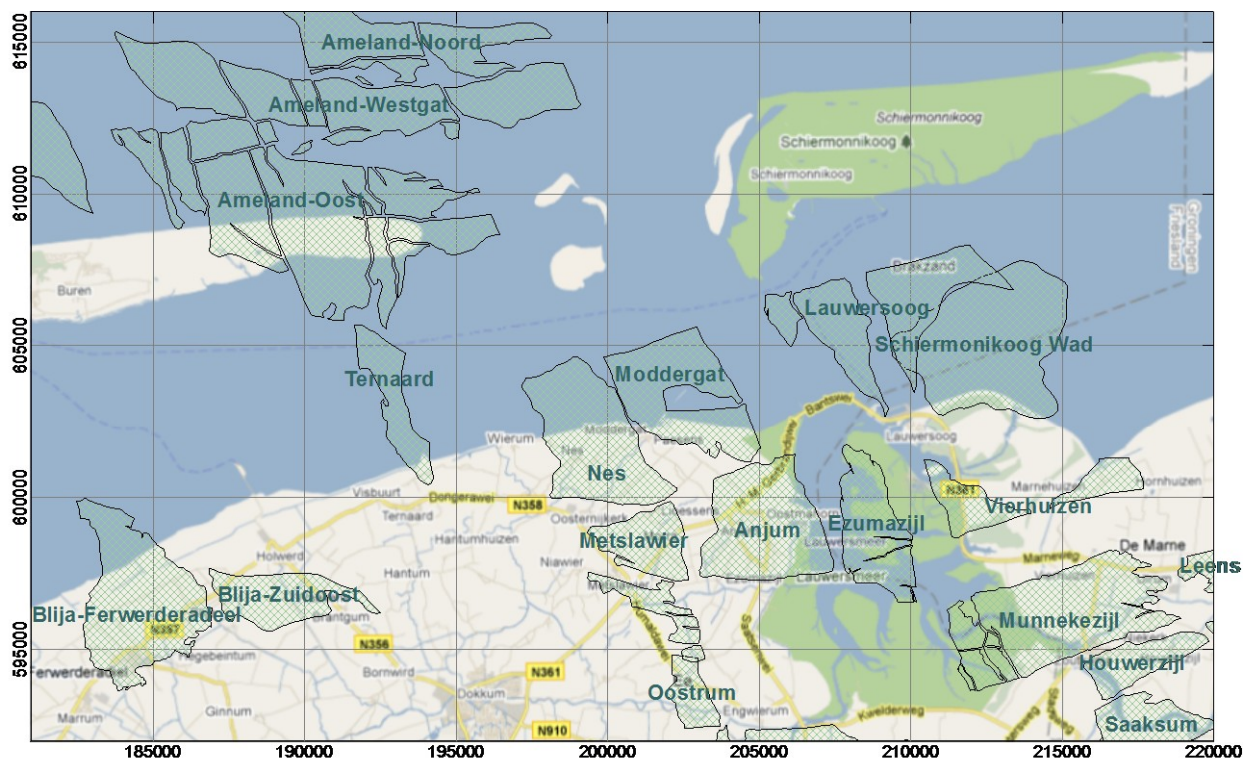
## INHOUD

<b>SAMENVATTING .....</b>	<b>1</b>
<b>INLEIDING .....</b>	<b>3</b>
<b>OVERZICHT BODEMDALING AMELAND/LAUWERSMEER.....</b>	<b>4</b>
Inleiding .....	4
Metingen .....	4
Benaderingsmodel bodemdaling .....	4
Ruis.....	5
Onregelmatigheden .....	5
Meetpuntzetting.....	5
Bodembeweging .....	6
<b>BODEMDALING ROND HET LAUWERSMEER .....</b>	<b>7</b>
Inleiding .....	7
Metingen .....	7
Benaderingsmodel bodemdaling .....	7
Ruis.....	7
Onregelmatigheden .....	8
Meetpuntzetting.....	10
Bodembeweging .....	10
Gemeten tegen voorspeld.....	13
Productievolumes.....	14
<b>BODEMDALING ROND AMELAND .....</b>	<b>15</b>
Inleiding .....	15
Metingen .....	15
Benaderingsmodel bodemdaling .....	16
Ruis.....	16
Onregelmatigheden .....	16
Meetpuntzetting.....	17
Bodembeweging .....	17
Gemeten tegen voorspeld.....	21
<b>KANTTEKENINGEN .....</b>	<b>25</b>
Continue GPS.....	25
Toegang tot meetgegevens .....	28
Rekenmethodiek .....	28
Voorspellingsmethodiek .....	29
<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....</b>	<b>31</b>
<b>GECITEERDE WERKEN .....</b>	<b>32</b>

# Bodemdaling rond de Waddenzee 1977-2009

## INLEIDING

In het centrale gedeelte van de Waddenzee wordt vanaf 1986 gas gewonnen. Aanvankelijk alleen uit velden bij Ameland, vanaf 1995 ook uit velden op het vasteland. Achtereenvolgens werden Munnekezijl, Metslawier, Anjum, Ezumazijl, Houwerzijl en Saaksum, Kollum-Noord, Engwierum, Oostrum en Leens in productie gebracht. Vanaf 2007 werden daar tenslotte de 'Waddenvelden' Nes, Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen aan toegevoegd. In de besluitvorming rond de gaswinning uit de Waddenvelden speelden onzekerheden in de te verwachten bodemdaling een grote rol. Is de bodemdaling voldoende beheersbaar door productie 'met de hand aan de kraan'? Voordat de recentelijk indiende herziene winningsplannen voor Ameland Anjum en de Waddenzeevelden, worden goedgekeurd is het verstandig de tot dusverre opgetreden bodembeweging te evalueren.



FIGUUR 1: LIGGING GASVELDEN ROND AMELAND EN LAUWERSMEER

Dit rapport beschrijft drie analyses die gezamenlijk de bodembeweging over het in figuur 1 aangegeven gebied voor de periode van 1977 tot 2011 gedetailleerd in kaart brengen. Alle metingen ongeacht herkomst of meetmethode (optische en hydrostatische waterpasmetingen, statische en continue GPS metingen) zijn integraal in 3D getoetst en vereffend m.b.v. het software pakket SuRe (Houtenbos, 2004), bijlage C

van (TCBB, 2009). Helaas waren de cruciale GPS metingen van 2010 op het Wad niet op tijd vrijgegeven voor beoordeling in het kader van de herziene winningsplannen.

Analyse\Parameter	X Min	X Max	Y Min	Y Max	T Min	T Max
Overzicht	180000	220000	590000	616000	01-1984	02-2009
Lauwermeer gaswinning	197000	220000	590000	605000	06-1986	01-2010
Ameland gaswinning	178000	204000	598000	616000	01-1977	06-2011

TABEL 1: RUIMTE EN TIJD BEGRENZING DEELANALYSES

## OVERZICHT BODEMDALING AMELAND/LAUWERSMEER

### Inleiding

In het Ameland/Lauwersmeergebied wordt op veel verschillende plaatsen gas gewonnen. Elke winning heeft zijn eigen startdatum, productieprofiel en bijdrage aan de totaal gemeten bodemdaling. Berekening van de bodemdaling per winning geeft geen garantie dat de som van de afzonderlijke bijdrages gelijk is aan de totaal gemeten bodemdaling. Daarom eerst een – minder gedetailleerde - analyse van het Ameland/Lauwersmeergebied als geheel. De geanalyseerde periode loopt van twee jaar voor aanvang van de eerste gaswinning tot de 2009 meting over Ameland. Door deze keuze kon extrapolatie in de tijd vanaf de laatste meting over het Lauwersmeergebied, de 2008 meting Noord-Nederland, beperkt blijven tot een half jaar.

### Metingen

In de gekozen periode zijn 7175 hoogteverschillen tussen 2144 meetpunten in het gebied gemeten. Optische waterpassing leverde het leeuwendeel van hoogteverschillen, hydrostatisch waterpassen en GPS een veel kleiner deel.

Het grote aantal waarnemingen gaat de integrale rekencapaciteit te boven. Door middeling van kort na elkaar hermeten secties en samenvoeging van ketens van korte secties is de dataset met een minimum aan informatieverlies ingedikt tot 2400 hoogteverschillen tussen 316 meetpunten.

Gemeten hoogteverschillen weerspiegelen behalve verschillen in de gezochte bodemdaling ook verschillen in zetting van de peilmerk funderingen en meetruis.

### Benaderingsmodel bodemdaling

Bij de vereffening is uitgegaan van een benaderingsmodel voor de bodemdaling. Dit model heeft geen significante invloed op de berekende relatieve beweging. Het zorgt er alleen voor dat de absolute daling buiten de invloedsfeer van de gaswinning gemiddelde nul is. Alleen relatieve beweging tussen gebieden is meetbaar. De keuze van het buitengebied als bewegingsreferentie is van cosmetische aard en zegt niets over de absolute daling daarvan.

## Ruis

Door meet-, punt- en modelruis wijken de metingen in min of meerdere mate af van het benaderingsmodel. De meetruis beschrijft het verschil tussen de meting en het werkelijke hoogteverschil tussen twee meetpunten, de puntruus het verschil tussen beweging van een individueel meetpunt en dat van het gemiddelde van de peilmerken in de omgeving en de modelruis tenslotte beschrijft het verschil in relatieve bodembeweging tussen het benaderingsmodel en de werkelijkheid. Voor de precisie van de waterpasmetingen is de Rijkswaterstaatnorm gebruikt. Een dergelijke norm voor GPS metingen bestaat nog niet. Een bekend probleem is de onzekerheid in het hoogteverschil tussen de permanente meetpuntmarkering en het fasecentrum van de tijdelijke GPS opstelling. Op grond van eerste ervaringen is deze onzekerheid a priori op 3 mm gesteld. De parameters van de punt- en modelruis, waaronder de temporele gladheid van de peilmerkzetting en bodembeweging en de ruimtelijke gladheid van de bodemdaling, zijn niet afhankelijk van de subjectieve beoordeling van de analist, maar worden d.m.v. een variantie component analyse berekend uit het totaal van de metingen:

Ruiscomponent	Standaard deviatie ruiseffect op relatieve daling
Meetruis waterpassen	$0,76 \text{ mm} * \sqrt{2} * \text{afstand in km}$
Meetruis GPS	$\sqrt{2 * ((3,0 \text{ mm})^2 + (0,3 \text{ mm} * \text{afstand in km})^2)}$
Peilmerk instabiliteit	$0,45 \text{ mm} * (\text{periode in jaren})^{0,95} * \sqrt{2}$
Model imperfecties	$1,51 \text{ mm} * (\text{periode in jaren})^{0,88} * \sqrt{2 * (1 - e^{-(\text{afstand in m}/3671)^2})}$

TABEL 2: RUISCOMPONENTEN OVERZICHTSBEREKENING ROND DE WADDEN 1984-2009

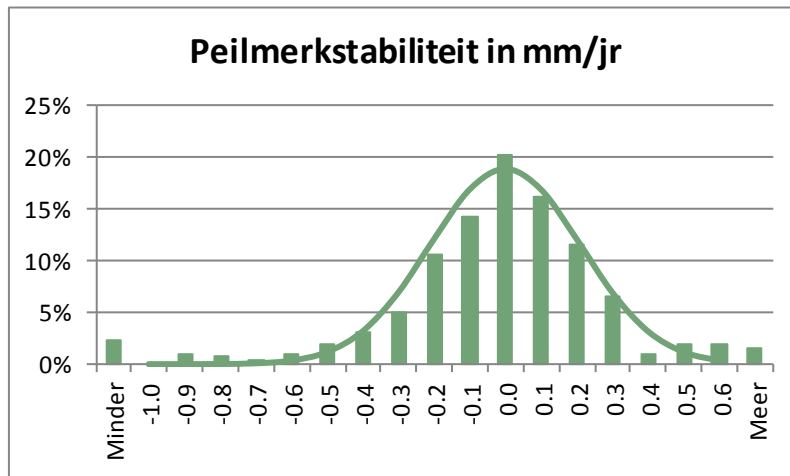
## Onregelmatigheden

De metingen zijn statistisch getoetst op meetfouten en onregelmatig meetpunt gedrag. De eerste toetsing bracht een tiental forse fouten, voornamelijk van administratieve aard, aan het licht. Deze fouten zijn bevestigd door NAM, maar zitten nog wel in de gepubliceerde meetregisters. Na deze correctie werden nog in 2,5% van de metingen onregelmatigheden gevonden: 8 meetfouten in grootte variërend van 3.6 tot 15.7 mm, 5 peilmerkverstoringen van 5 tot 35 mm, 21 onjuiste peilmerkaanmetingen variërend van 3 tot 25 mm en 4 peilmerken met afwijkende zettingsnelheden tussen de 3 en 5 mm over een jaar. Voor nog 23 andere gedetecteerde onregelmatigheden waren er onvoldoende overvallige waarnemingen om ook de aard van de onregelmatigheid vast te stellen. Alle gedetecteerde onregelmatigheden zijn met minimaal informatieverlies onschadelijk gemaakt.

## Meetpuntzetting

De gemeten relatieve beweging tussen twee meetpunten weerspiegelt de som van het verschil in bodembeweging op de beide punten en het verschil in zetting tussen de twee meetpunten. Deze relatieve zetting is bepaald door vergelijking van de

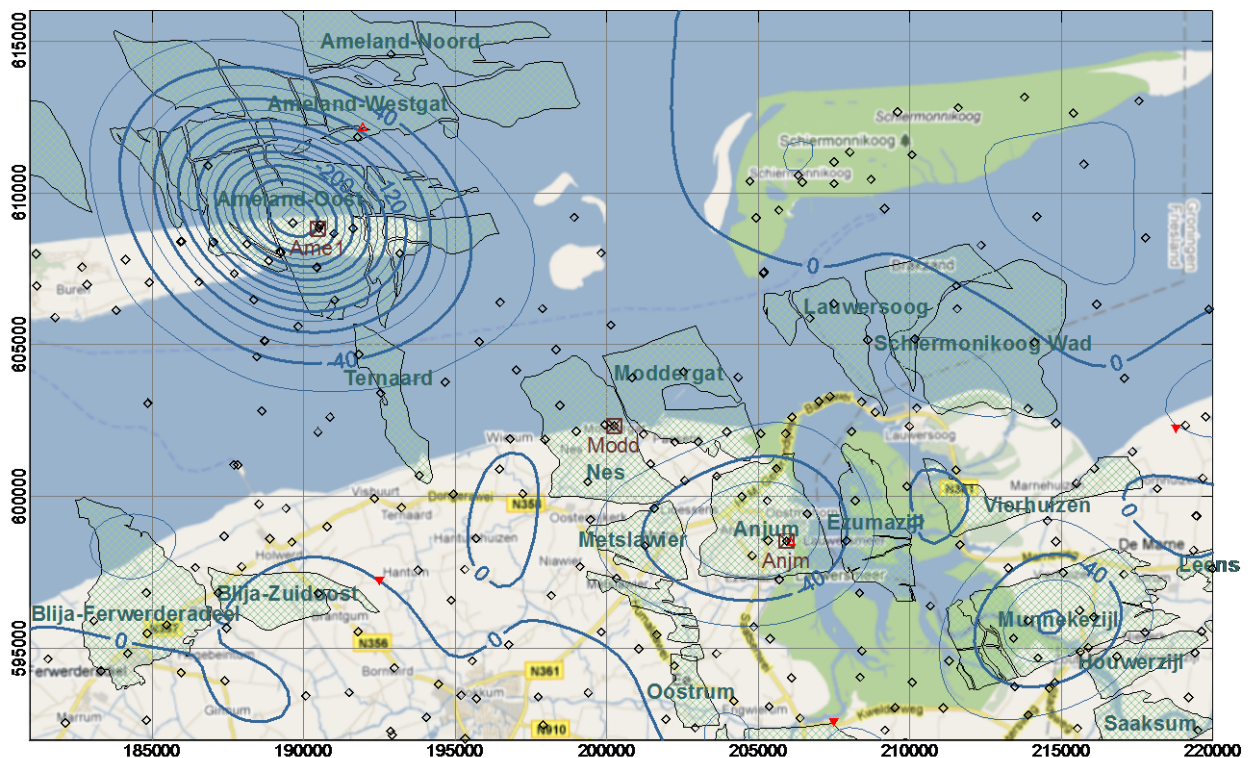
beweging van het individuele meetpunt met de gemiddelde beweging van de peilmerken in de omgeving. De zettingsnelheid neemt ruwweg logaritmisch in de tijd af. Daarom zal de gemiddelde zettingsnelheid afnemen naarmate de beschouwde periode langer wordt.



FIGUUR 2: HISTOGRAM RELatieve PEILMERKZETTING 1986-2009

De standaarddeviatie van de gemiddelde meetpunt zettingsnelheid in het Ameland/Lauwersmeergebied over de periode 1986-2009 bedroeg 0.21 mm per jaar. 92% van de peilmerken in het onderzoeksgebied beweegt met een snelheid van minder dan 0.5 mm per jaar ten opzichte van de peilmerken in de omgeving en valt daarmee in de hoogste stabiliteitsklasse.

### Bodembeweging



FIGUUR 3: RELatieve BODEMBEWEGING ROND DE WADDENZEE 1986-2009 IN MM



Figuur 3 toont de relatieve bodembeweging in het onderzoeksgebied. Bodemdaling in absolute zin kan niet uit de hoogteverschilmetingen tussen puntparen worden bepaald. De bijdrage van gaswinning uit de nieuwe Waddenvelden aan de totaal gemeten bodembeweging is in dit overzicht niet of nauwelijks te onderscheiden. Voor zover deze er is, ligt hij verborgen in de details van enkele sterk ontwikkelde bodemdalingssommen. Uit de resultaten zijn de parameters van de diepste sommen geschat. Plaats, vorm en ontwikkeling van zo'n bodemdalingssom worden beschreven door een analytische functie van de vorm:

$$z(x, y, t) = z_{max}(t) \cdot e^{-\frac{1}{2}r^{\delta}}$$

$$r^2 = \left( \frac{(x - x_{mid}) \cdot \sin\alpha + (y - y_{mid}) \cdot \cos\alpha}{a} \right)^2 + \left( \frac{(x - x_{mid}) \cdot \cos\alpha - (y - y_{mid}) \cdot \sin\alpha}{b} \right)^2$$

Deze sommen dienen als benaderingsmodel voor de invloed van grotendeels buiten het onderzoeksgebied gelegen bodemdalingfenomenen in het vervolgonderzoek dat meer gedetailleerd inzoomt op de bijdrage van specifieke velden.

## BODEMDALING ROND HET LAUWERSMEER

### Inleiding

De analyse rond het Lauwersmeer richt zich specifiek op de invloed van de Waddenvelden, maar ontkomt daarbij niet aan de noodzaak de invloed van meer zuidelijk gelegen gasvelden in de beschouwing te betrekken. De beweging in dit gebied wordt bepaald ten opzichte van de situatie op 01-01-1995, vlak voor het begin van de gaswinning in het gebied.

### Metingen

In de gekozen periode van 1986 tot 2010 zijn in het gebied 3376 hoogteverschillen tussen 833 punten gemeten. GPS metingen zijn als hoogteverschil met het dichtstbijzijnde referentiestation, in dit geval Schiermonnikoog, meegenomen. Deze dataset is met een minimum aan informatieverlies ingedikt tot 2400 hoogteverschillen tussen 289 meetpunten.

### Benaderingsmodel bodemdaling

Bij de vereffening is uitgegaan van een benaderingsmodel voor de bodemdaling, bestaande uit vijf sommen, een boven Ameland (AML), een boven de gasvelden Metslawier, Anjum en Ezumazijl (MAE), een boven Munnekezijl en omliggende velden (MKZ), een boven Kollum en Kollum-Noord (KLMN) en tenslotte een boven de gasvelden Engwierum en Oostrum (EWM).

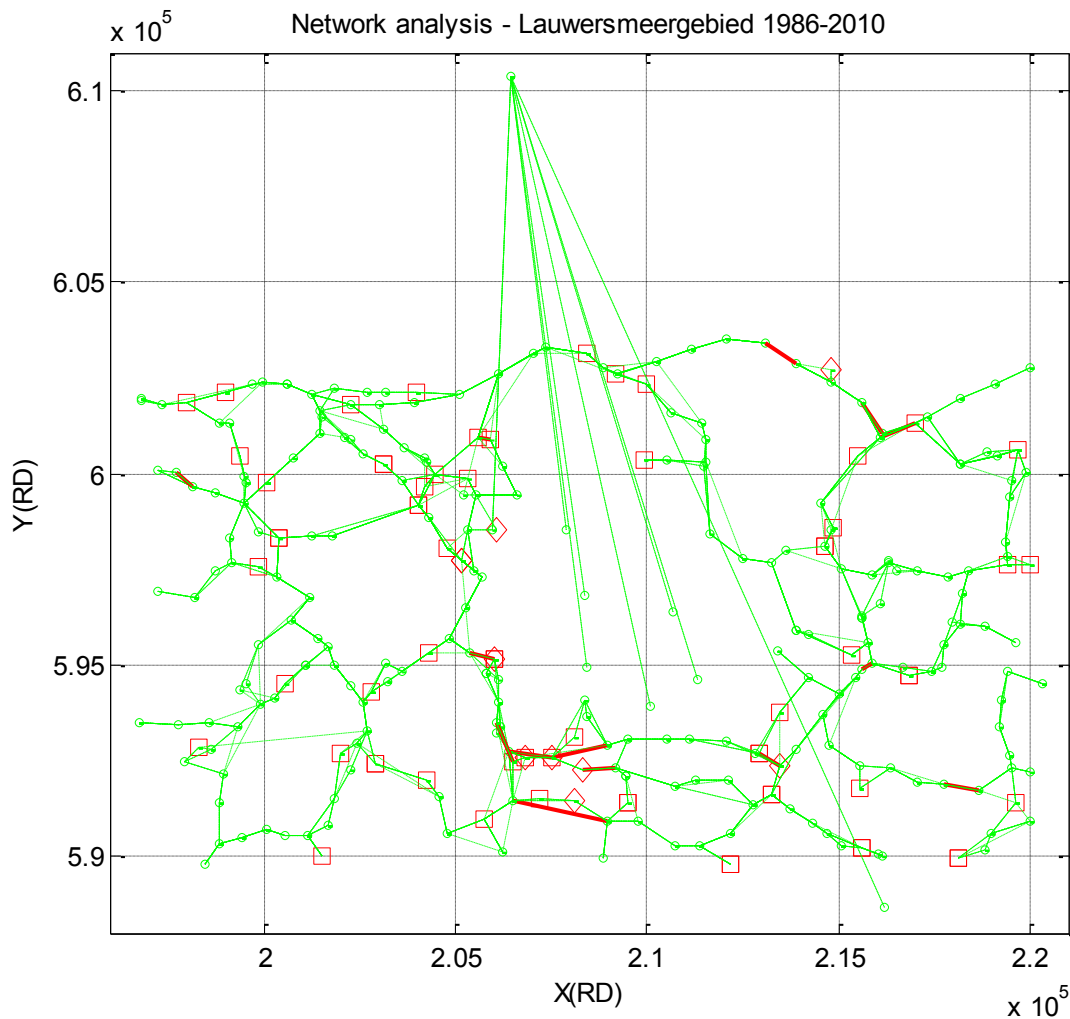
### Ruis

De ruiscomponenten zijn gemodelleerd als aangegeven bij de overzichtsanalyse. Variantie component analyse van deze specifieke dataset leverde de volgende parameterwaarden op voor de punt- en modelruis:

Ruiscomponent	Standaard deviatie ruiseffect op relatieve daling
Peilmerk instabiliteit	$0,35 \text{ mm} * (\text{periode in jaren})^{0,95} * \sqrt{2}$
Model imperfecties	$1,50 \text{ mm} * (\text{periode in jaren})^{0,85} * \sqrt{2 * (1 - e^{-(\text{afstand in m}/2506)^2})}$

TABEL 3: RUISCOMPONENTEN LAUWERSMEERGEBIED 1986-2010

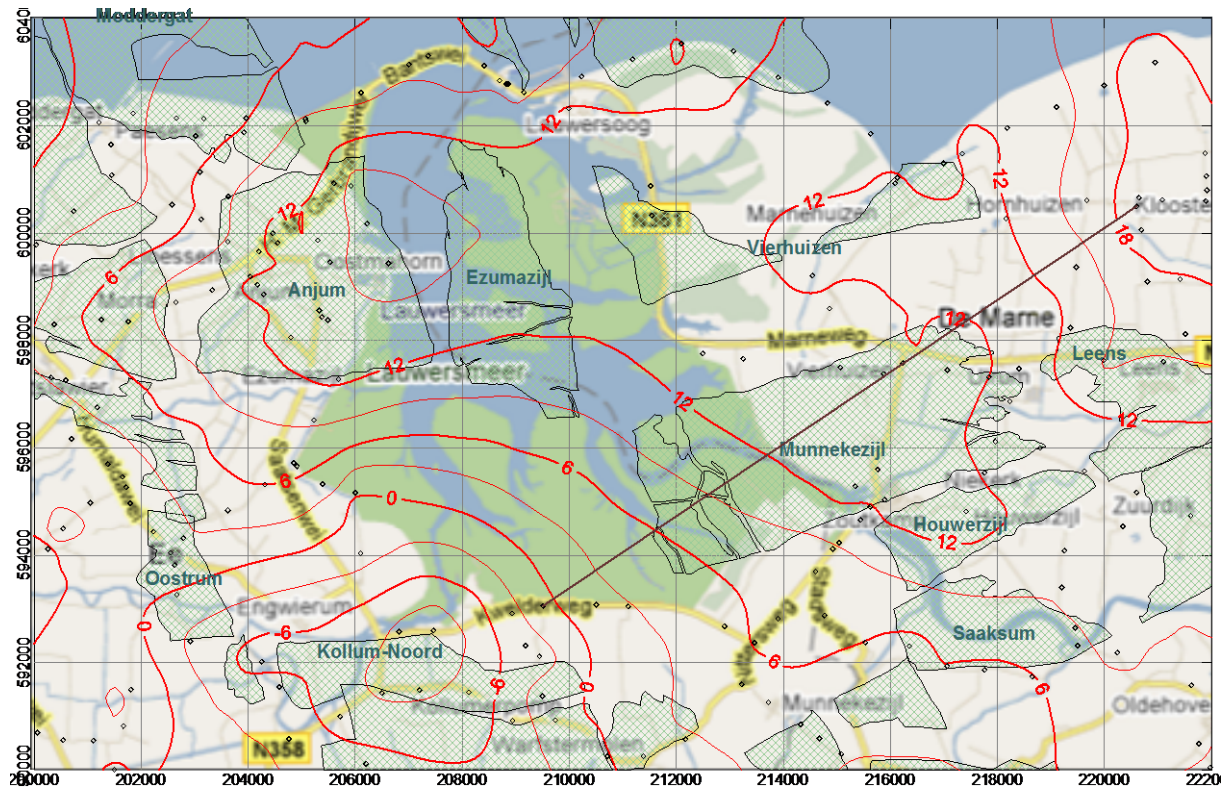
## Onregelmatigheden



FIGUUR 4: 3D NETWERKANALYSE LAUWERSMEERGEBIED MET GEDETECTEERDE ONREGELMATIGHEDEN

Toetsing van de metingen met het analyse pakket SuRe op meetfouten en onregelmatig meetpuntgedrag resulteerde in 91 onregelmatigheden in de 3376 beschikbare hoogteverschillen (2,7%): 7 meetfouten (rood lijnstuk in Figuur 4) variërend van 3 tot 5 mm, 2 peilmerkverstoringen (rood vierkantje) van 2 en 5 mm, 19 onjuiste peilmerk-aanmetingen (rood vierkantje) variërend van 2 tot 7 mm en 4 peilmerken met afwijkende zettingsnelheden (rood diamantje) tussen de 2 en 3 mm over één jaar. Voor nog 60 andere, meest kleinere, onregelmatigheden (rood vierkantje of diamantje) waren er onvoldoende overtallige waarnemingen om de aard van de onregelmatigheid vast te stellen.

Onderzoek van de gepubliceerde meetregisters (NAM, 2010a) bracht nog een andere, veel verontrustender, onregelmatigheid aan het licht. De waterpassing Noord-Nederland 2003 voldoet aan alle door Rijkswaterstaat gestelde kwaliteitscriteria, maar bevat desalniettemin een geleidelijk tot 20 mm oplopende systematische fout. De standaarddeviatie van het vereffende hoogteverschil tussen Kollumerpomp en het 15 km verderop gelegen Kruisweg is onder de specificaties van Rijkswaterstaat 2.1 mm. Figuur 5 illustreert het systematische karakter van de fout, die 10 maal de standaarddeviatie bedraagt. De fout wordt bevestigd door vergelijking van de bodembeweging over de periode 2003-2008 uit InSar met die uit waterpasmeting, figuren 5.12 en 5.3 in (NAM, 2010b).



FIGUUR 5: TUSSEN 1998 EN 2008 GEINTERPOLEERDE MIN IN 2003 GEMETEN HOOGTE [MM]. (NAM, 2010A)

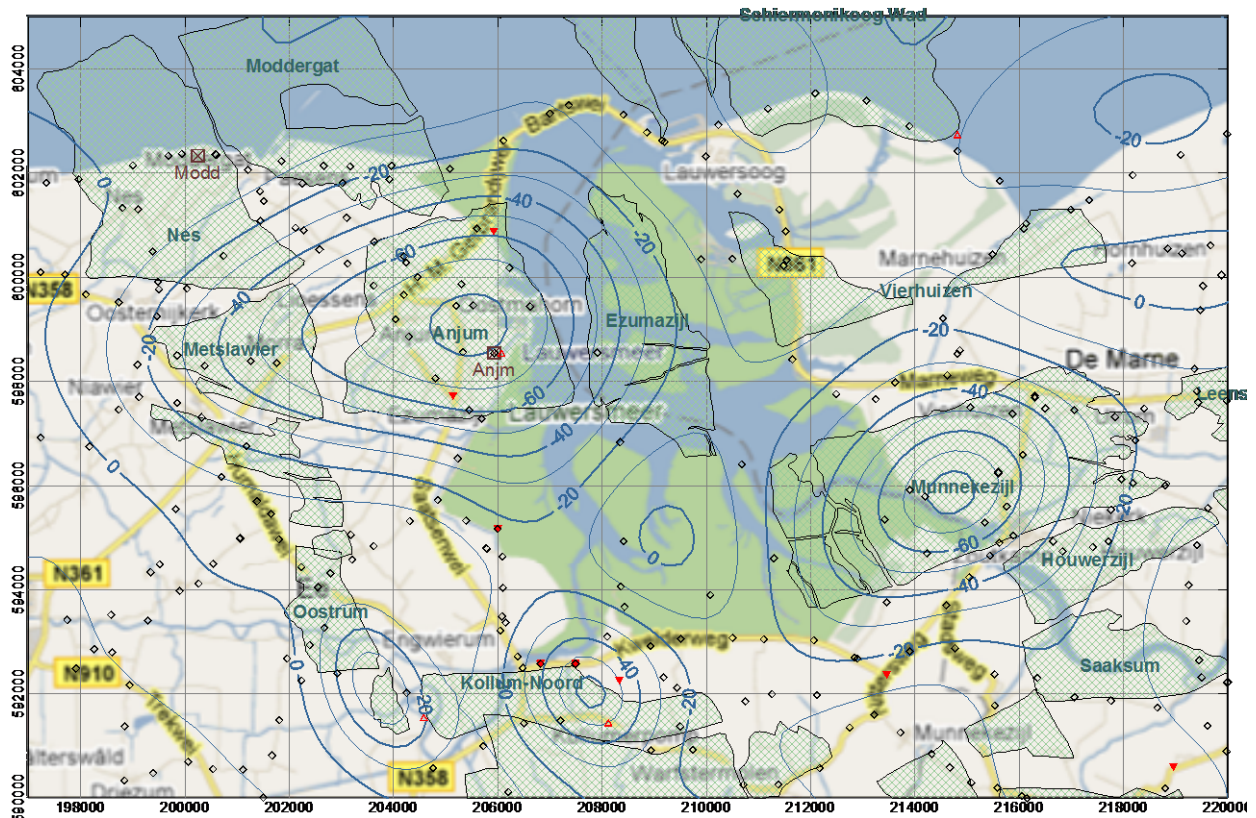
De door Rijkswaterstaat opgelegde procedure sluit systematische fouten van deze grootte uit. Om het vertrouwen in de zuiverheid van de metingen te herstellen is onderzoek naar de oorzaak dringend gewenst. Hierbij mag het ‘dokteren’ met de ruwe metingen vóór aanlevering bij Rijkswaterstaat niet a priori worden uitgesloten.

De mate waarin systematische fouten in de gemeten hoogteverschillen zich door een netwerk voortplanten is afhankelijk van de gebruikte aansluitingsmethodiek. Deze is het sterkst bij de door NAM gebezigde vrije vereffening. De fout loopt op tot 20 mm bij Kruisweg. Rijkswaterstaat berekent NAP hoogtes in een gedwongen vereffening. Dit bracht de fout bij Kruisweg terug tot 15 mm. De integrale 3D vereffening, gebruikt voor de analyses in dit rapport, reduceert het effect ten slotte tot 5 mm bij Kruisweg. Ook in dit geval is het effect op de berekening van komvolumes en de kalibratie van geomechanische modellen echter nog altijd te groot om aan de uitkomsten beleidsconsequenties te verbinden. Voorzover een meetcampagne fungeert als nulmeting zijn de schadelijke effecten van systematische fouten bovendien blijvend.

## Meetpuntzetting

De standaarddeviatie van de gemiddelde meetpunt zettingsnelheid in het Lauwersmeergebied over de periode 1995-2010 bedroeg 0.22 mm per jaar. 93% van de peilmerken beweegt langzamer dan 0.5 mm per jaar ten opzichte van het gemiddelde van de naburige peilmerken en valt daarmee in de hoogste stabiliteitsklasse.

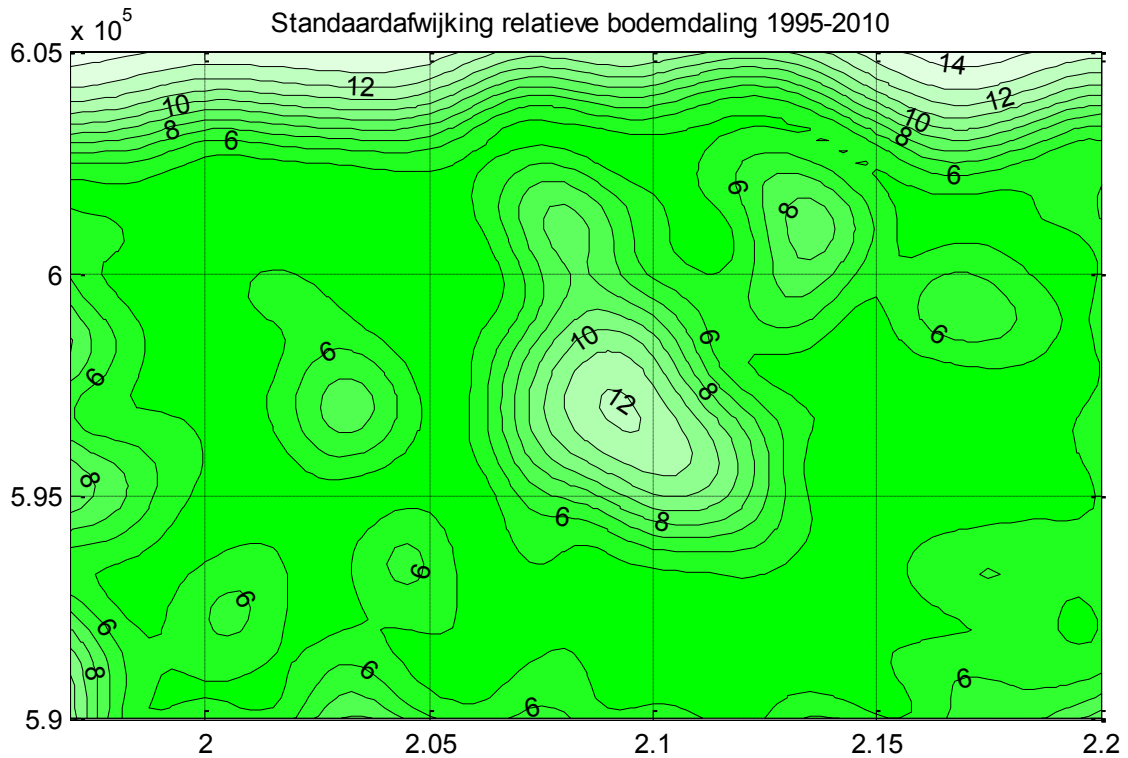
## Bodembeweging



FIGUUR 6: BODEMBEWEGING LAUWERSMEER 1995-2010

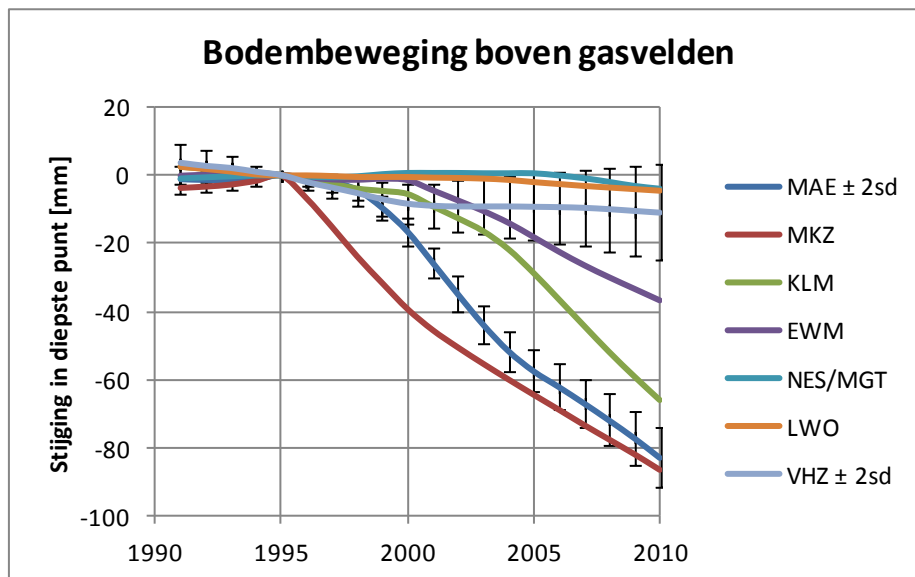
In het Lauwersmeergebied tekenen zich vier bodemdalingskommen af. Er zijn in het kaartbeeld nog geen tekenen van een significante bijdrage van de Waddenvelden aan de bodemdaling in het gebied.

Figuur 7 toont de precisie van de berekende relatieve bodemdaling. Deze varieert van 4 mm op plekken met veel peilmerken tot 14 mm op de Waddenzee. Behalve de Waddenzee vormen ook het Lauwersmeer en de Marnewaard zwakke plekken. Zonder versterking van het meetnetwerk zal het niet mogelijk zijn de bijdrage aan de bodemdaling van gaswinning uit de velden Vierhuizen, Lauwersoog, Moddergat en Nes voldoende precies en betrouwbaar te bepalen.



FIGUUR 7: PRECISIE RELATIEVE BODEMBEWEGING LAUWERSMEER [MM]

Figuur 8 toont de ontwikkeling van de bodemdaling boven de gasvelden Metslawier, Anjum en Ezumazijl (MAE), Munnekezijl en omliggende velden (MKZ), Kollum en Kollum-Noord (KLM) en Engwierum en Oostrum (EWM) in de tijd, de eerste en laatste met bijbehorende onzekerheidsmarge van twee maal de standaarddeviatie. De onzekerheid van de bodemdaling op zeker moment neemt toe met de lengte van de periode tussen het referentietijdstip, 1995 in dit geval, en dat moment.



FIGUUR 8: ONTWIKKELING BODEMDALING IN DE TIJD T.O.V. 1995

De bodemdaling boven de Waddenvelden heeft het, door de lage meetdichtheid hoge, significantieniveau ter plaatse nog niet overschreden. Dat is wel het geval boven de andere velden.

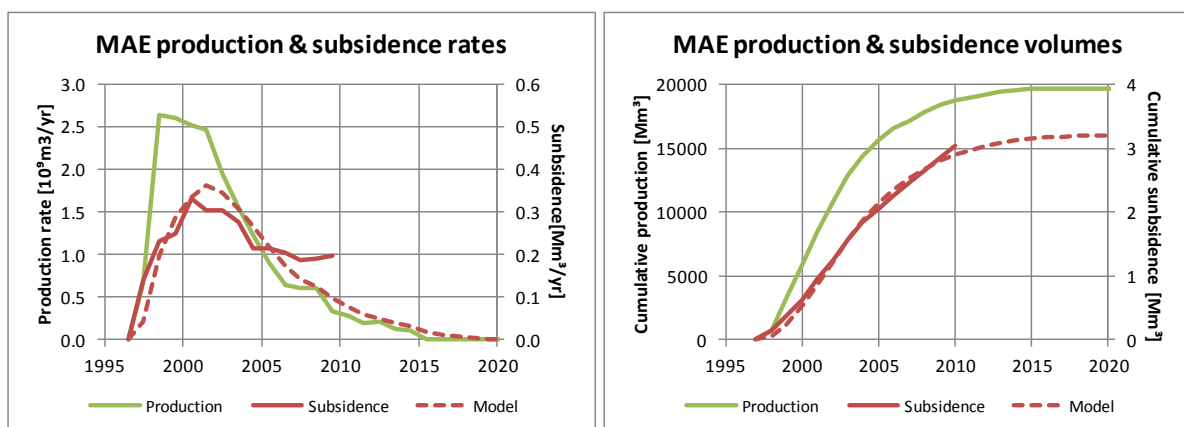
De totaal berekende bodemdaling is ontleed in afzonderlijke kommen, een per ruimtelijk en temporaal coherent bodemdalingfenomeen. De grootste twee hangen ondubbelzinnig samen met de gaswinning uit de Metslawier, Anjum en Ezumazijl (MAE) respectievelijk Munnekezijl (MKZ) velden. De parameters van deze bodemdalingssommen op 01-01-2010 waren:

Parameter	Symbool	MAE	MKZ
X coördinaat komhart [m]	$x_{mid}$	204705	214693
Y coördinaat komhart [m]	$y_{mid}$	599027	595853
Lange komstraal [m]	$a$	3423	1694
Korte komstraal [m]	$b$	2055	1442
Kaarthoek lange komstraal [°]	$\alpha$	81	65
Afplatting	$\delta$	2.39	1.30
Diepte in komhart [mm]	$z_{max}$	-81.8	-88.2

TABEL 4: KOMPARAMETERS ANJUM EN MUNNEKEZIJL OP 01-01-2010

De extreem puntige trechtersvorm van de MKZ kom hangt mogelijk samen met de eerder genoemde systematische fout in de meting van 2003.

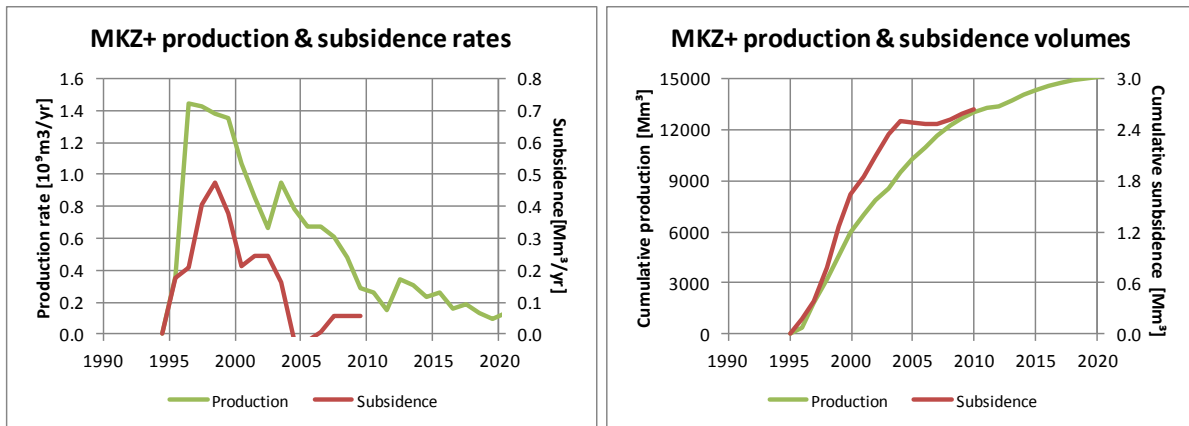
De relatie tussen al gerealiseerde en nog voorziene gaswinning uit de Metslawier, Anjum en Ezumazijl (MAE) velden en daardoor veroorzaakte bodemdaling is weergegeven in onderstaande figuur:



FIGUUR 9: SNELHEID EN CUMULATIE VAN PRODUCTIE EN BODEMDALINGVOLUMES, ANJUM

De rode stippellijn geeft de bodemdaling aan, die op grond van een exponentieel response model(Houtenbos, 2007a), (Barends, 2011) moet worden verwacht van de gerealiseerde en nog geplande gaswinning. Merk op dat ook dit model de bodemdalingssnelheid vanaf 2006 nog sterk onderschat. De onregelmatigheden in het geme-

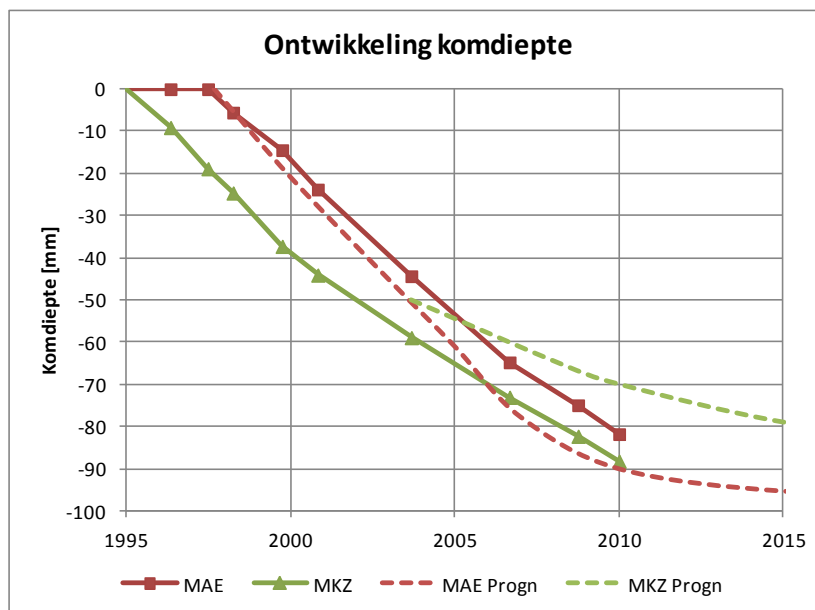
ten bodemdalinggedrag rond 2003 boven de Munnekezijl velden maken een dergelijke berekening van de nog te verwachten bodemdaling onmogelijk. In zo'n geval zal kalibratie van het geomechanische model tegen de metingen ook tot volkomen onjuiste conclusies leiden.



FIGUUR 10: SNELHEID EN CUMULATIE VAN PRODUCTIE EN BODEMDALINGVOLUMES, MUNNEKEZIJL

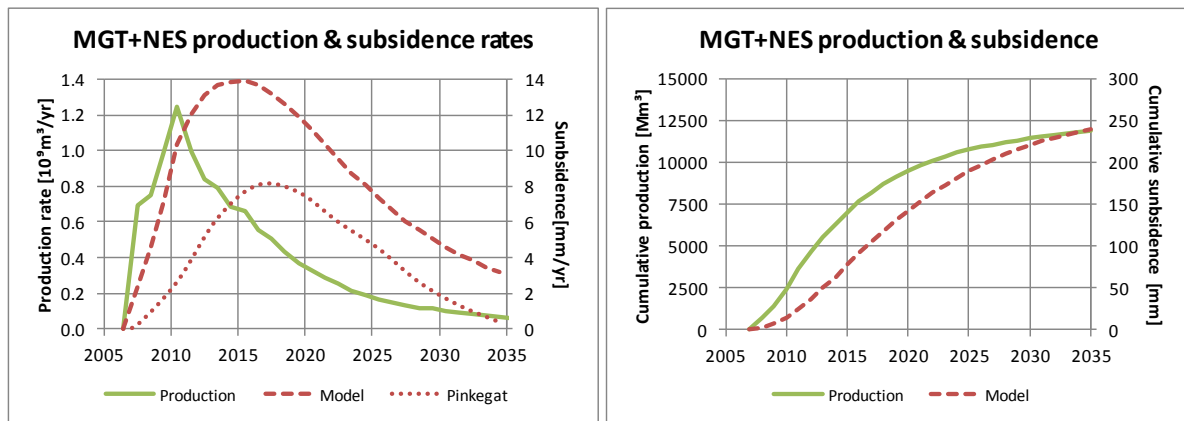
### Gemeten tegen voorspeld

De diepte van de MAE en MKZ komen ontwikkeld zich volgens een bekend patroon: de snelheid van bodemdaling neemt minder snel af dan in de winningsplannen (NAM, 2003a) en (NAM, 2008) voorspeld op basis van de geomechanische theorie.



FIGUUR 11: VOORSPELDE EN GEMETEN ONTWIKKELING

De bodemdalingbijdrage van de gaswinning uit de Waddenvelden is nog onvoldoende afgetekend om de relatie met specifieke winningen te kunnen vaststellen. Wel kan onder de aanname dat de vertragingconstante het zelfde zal zijn als die voor Ameland en dat de cumulatieve bodemdaling door winning van twee maal zoveel gas als oorspronkelijk voorzien (NAM, 2005) ook tweemaal zo groot zal zijn, de reactie op de geplande productie worden vergeleken met de dalingsnelheid die uit de belasting in het Pinkegat bergingsgebied (NAM, 2011b) kan worden afgeleid.

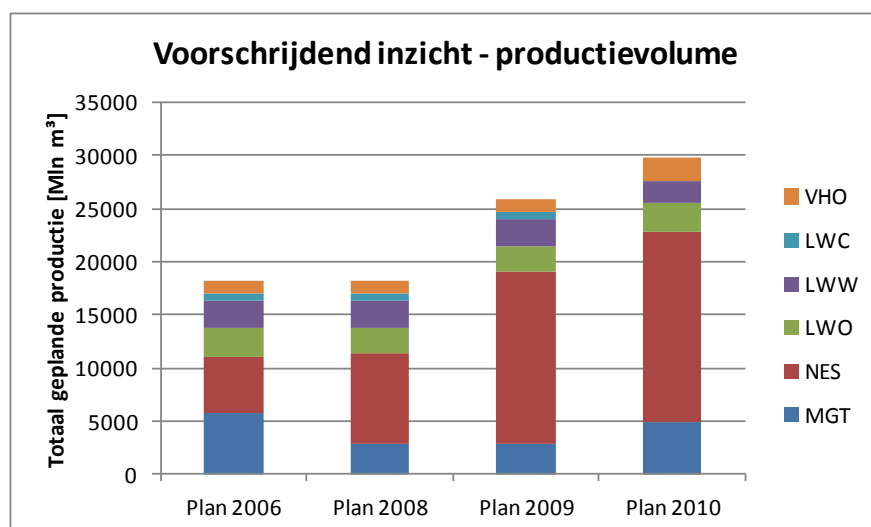


FIGUUR 12: PRODUCTIE VOLUMES EN BODEMDALING MODDERGAT EN NES

Alhoewel de ‘Pinkegat’ resultaten in Figuur 12 volgens het meet- en regelrapport 2010 (NAM, 2011b) gebaseerd zijn op dezelfde voorspellingsmethodiek (Houtenbos, 2007a) als de ‘Model’ resultaten, verschillen zij sterk. De beide voorspellingen gebruiken eenzelfde vertragingconstante van ongeveer 5.5 jaar. Desondanks bereikt de ‘Model’ voorspelling zijn topsnelheid 5 jaar en de ‘Pinkegat’ voorspelling 10 jaar na de productiepiek. In de ‘Pinkegat’ berekening is de dalingssnelheid in 2035 naar nul teruggelopen, waar deze in de ‘Model’ berekening nog meer dan 20% van de topsnelheid bedraagt. In het hoofdstuk Kanttekeningen - Voorspellingsmethodiek zal nader op de betrouwbaarheid van deze voorspellingen worden ingegaan. Voorlopig moet worden vastgesteld dat de relatie tussen de snelheid van productie en daling dermate onzeker is, dat de beheersbaarheid van toekomstige daling moet worden gezien als een geloofsartikel, niet een empirisch bewezen feit.

### Productievolumes

In 2007 werd de gaswinning uit de Waddenvelden aan NAM vergund na beoordeling van door NAM voorspelde effecten van winning volgens het in 2006 voorgelegde plan en de daarbij ter beperking van schade overeengekomen maatregelen. Inmiddels zijn de productieplannen dusdanig fors gewijzigd dat nieuwe afstemming van preventie- en compensatiemaatregelen geboden lijkt.

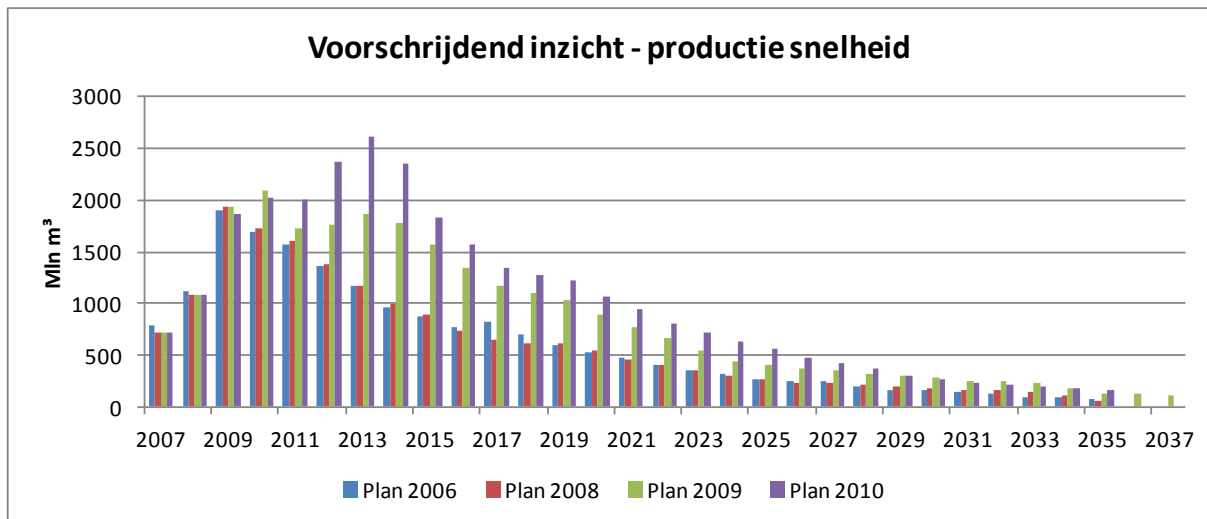


FIGUUR 13: GEPLANDE PRODUCTIEVOLUMES



De geplande winning uit het Nes veld is verdrievoudigd. Hierdoor zal onder andere de daling van de zeedijk bij de plaats Moddergat in beginsel ook driemaal zoveel zijn als in het oorspronkelijke plan kon worden voorzien.

De geplande winning over de totale periode en de productiesnelheid over de periode 2012-2025 zijn ruwweg verdubbeld. Dit vergroot de kwetsbaarheid voor fouten in de bodemdalingvoorspellingen en zal onder andere consequenties hebben voor volume en ontwikkeling van de zandhonger.



FIGUUR 14: HERZIENINGEN PRODUCTIESCHEMA 2007-2037

Door het herziene productieschema wordt de milieubelasting van het Wad over de periode 2012-2027 ongeveer tweemaal zo groot als oorspronkelijk voorzien.

## BODEMDALING ROND AMELAND

### Inleiding

De analyse rond Ameland richt zich specifiek op de invloed van gaswinning uit de Amelandvelden, collectief aangeduid als AML. Deze groep bestaat uit Ameland-Oost (AME) in productie sinds 1986, Ameland Westgat (AWG) sinds 1993 en Ameland-Noord (AMN) sinds 1996. De beweging in dit gebied wordt bepaald ten opzichte van de situatie op 01-06-1986, vlak voor het begin van de gaswinning in het gebied.

### Metingen

Voor deze analyse waren alle metingen op en rond Ameland tot en met de waterpassing van 2011 beschikbaar. Alleen de cruciale, in 2010 op het Wad verrichtte statische GPS metingen (NAM, 2011b) werden te laat vrijgegeven voor opname in deze analyse. Eerdere GPS metingen zijn als hoogteverschil vanaf het dichtstbijzijnde referentiestation, Ballum of Schiermonnikoog, meegenomen. In de gekozen periode van 1984 tot 2011 waren in het gebied in totaal 2983 hoogteverschillen tussen 957 punten beschikbaar. Deze dataset is met een minimum aan informatieverlies ingedikt tot 2247 hoogteverschillen tussen 302 meetpunten.

## Benaderingsmodel bodemdaling

Bij de vereffening is uitgegaan van een benaderingsmodel voor de bodemdaling, bestaande uit vijf kommen, een boven Ameland, een boven de gasvelden Metslawier, Anjum en Ezumazijl en een elk boven Munnekezijl, Kollum-Noord en Engwierum. De laatste drie liggen te ver weg om echt invloed op de resultaten te kunnen hebben.

## Ruis

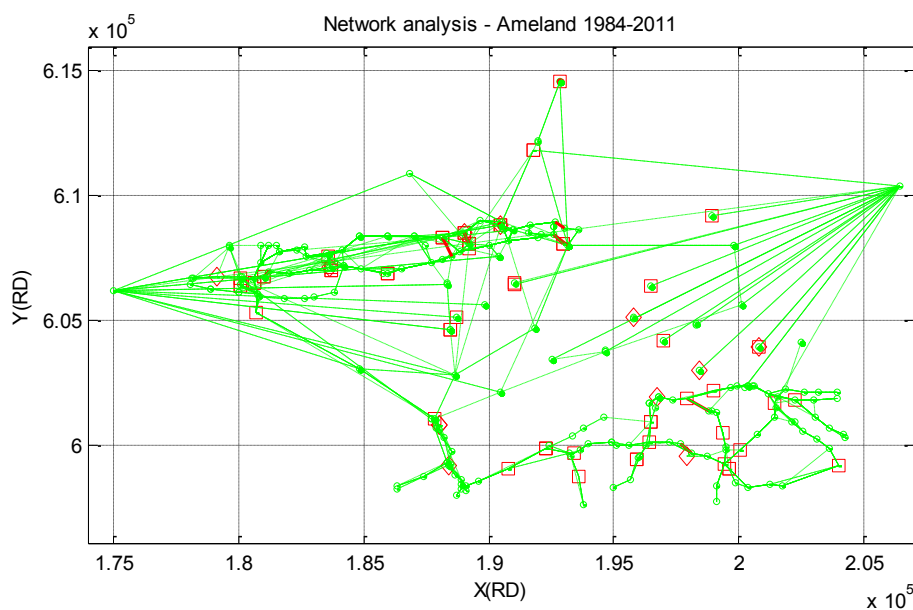
De ruiscomponenten zijn gemodelleerd als aangegeven bij de overzichtsanalyse. Variantie component analyse van deze specifieke dataset leverde de volgende parameterwaardes op voor de punt- en modelruis:

Ruiscomponent	Standaard deviatie ruiseffect op relatieve daling
Peilmerk instabiliteit	$0,35 \text{ mm} * (\text{periode in jaren})^{0,93} * \sqrt{2}$
Model imperfecties	$1,64 \text{ mm} * (\text{periode in jaren})^{0,81} * \sqrt{2 * (1 - e^{-(\text{afstand in m}/2990)^2})}$

TABEL 5: RUISCOMPONENTEN OP EN ROND AMELAND 1986-2011

## Onregelmatigheden

Toetsing van de metingen op meetfouten en onregelmatig meetpuntgedrag resulteerde in 85 onregelmatigheden in de 2983 beschikbare hoogteverschillen (2,8%): 9 meetfouten (rood lijnstuk in Figuur 15) variërend van 3 tot 5 mm, 2 peilmerkverstoringen (rood vierkantje) van 3 en 7 mm, 22 onjuiste peilmerkaanmetingen (rood vierkantje) variërend van 2 tot 7 mm en 1 peilmerk met afwijkende zettingsnelheden (rood diamantje) van 1.7 mm in één jaar. Voor nog 51 andere, meest kleinere, onregelmatigheden (rood vierkantje of diamantje) waren er onvoldoende overtallige waarnemingen om de aard van de onregelmatigheid vast te stellen.

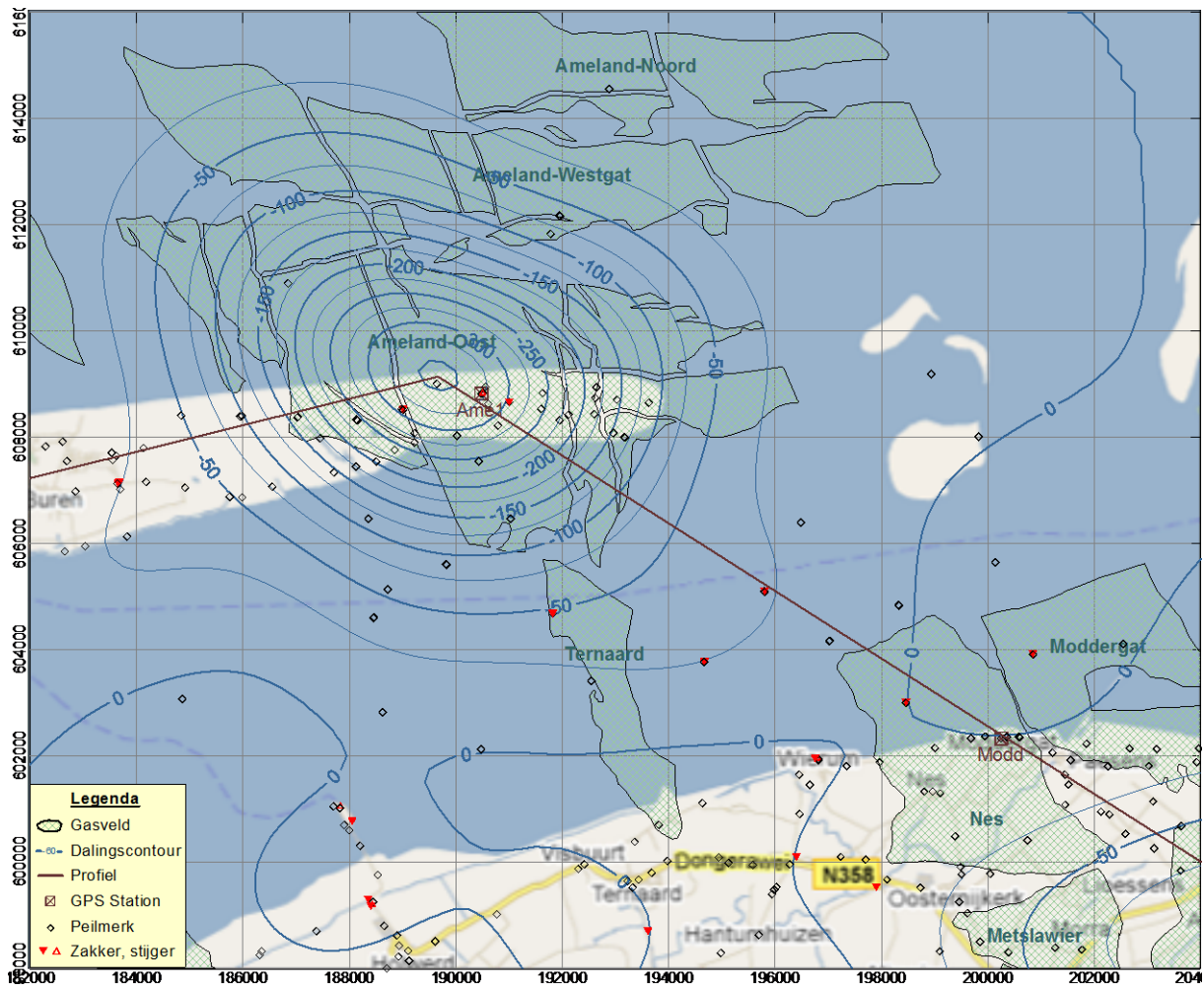


FIGUUR 15: 3D NETWERKANALYSE AMELAND MET GEDETECTEERDE ONREGELMATIGHEDEN

## Meetpuntzetting

De standaarddeviatie van de gemiddelde meetpunt zettingsnelheid op en rond Ameland over de relatief lange periode 1986-2011 bedroeg 0.16 mm per jaar. 94% van de peilmerken beweegt langzamer dan 0.5 mm per jaar ten opzichte van het gemiddelde van de naburige peilmerken en valt daarmee in de hoogste stabiliteitsklasse.

## Bodembeweging

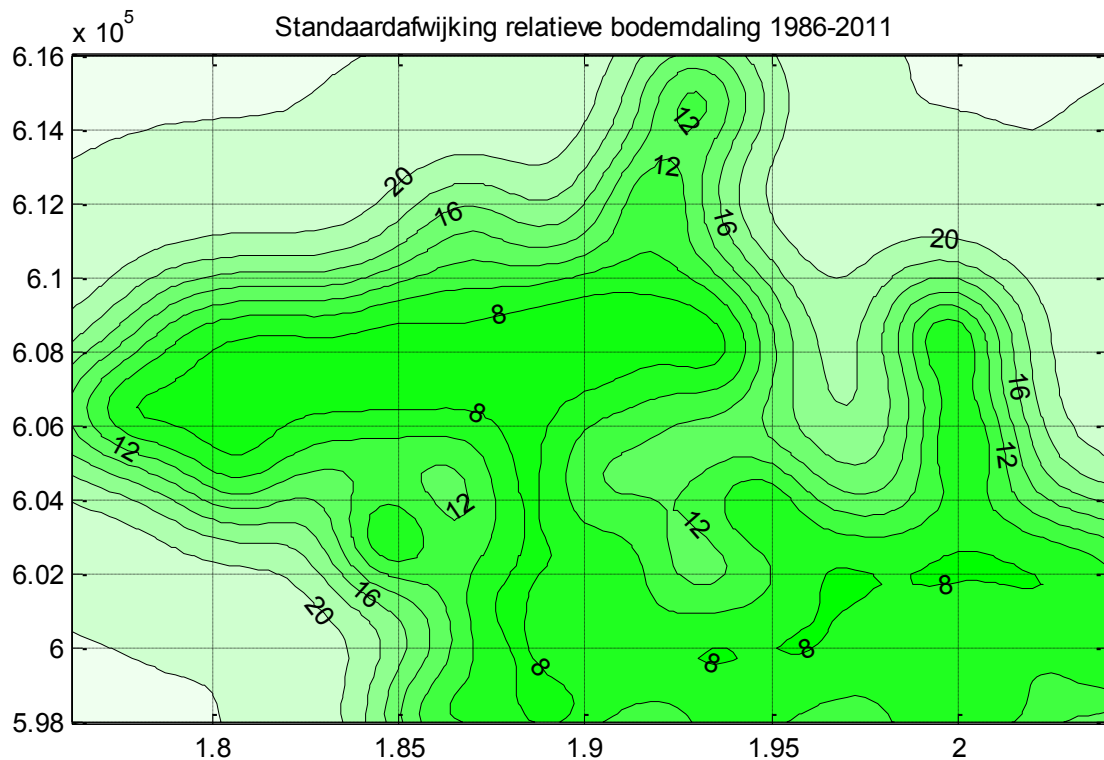


FIGUUR 16: BODEMBEWEGING AMELAND 1986-2011

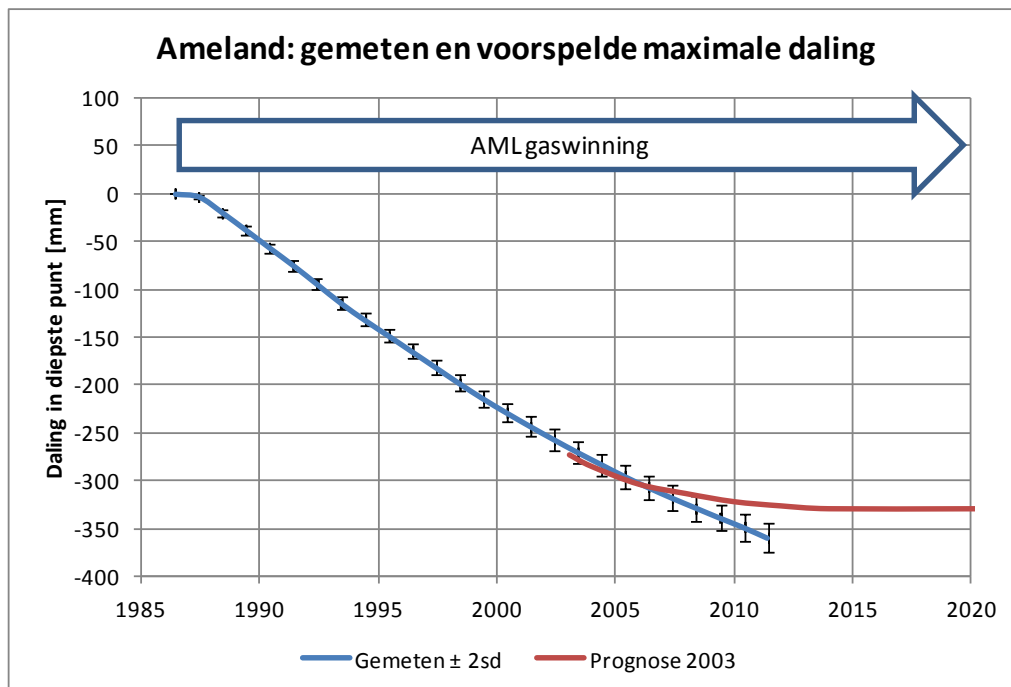
Rond Ameland tekenen zich twee kommen af, een boven Ameland en een in de zuidoost hoek van het gebied boven de Metslawier, Anjum en Ezumazijl velden.

Figuur 17 toont de precisie van de berekende relatieve bodemdaling. Deze varieert van 8 mm op Ameland tot meer dan 22 mm ten noorden en oosten van Ameland. De noordoost flank van de Amelandkom is te slecht bepaald voor een betrouwbare schatting van het komvolume. Ook het Wad tussen Ameland en Ternaard/Nes op het vasteland vormt een zwakke plek. Dit gebied is speciaal van belang omdat de bodemdalingeffecten van gaswinning uit de Ameland, Metslawier, Anjum, Ezumazijl, Nes en Moddergat velden hier samenkomen. Zonder versterking van het meetnet, met name boven het noordelijke deel van het Nesveld zal het niet mogelijk zijn de

bijdrage aan de bodemdaling door gaswinning uit de velden Moddergat en Nes enerzijds en Metslawier, Anjum en Ezumazijl anderzijds voldoende precies en betrouwbaar te bepalen en het verdere verloop te voorspellen.

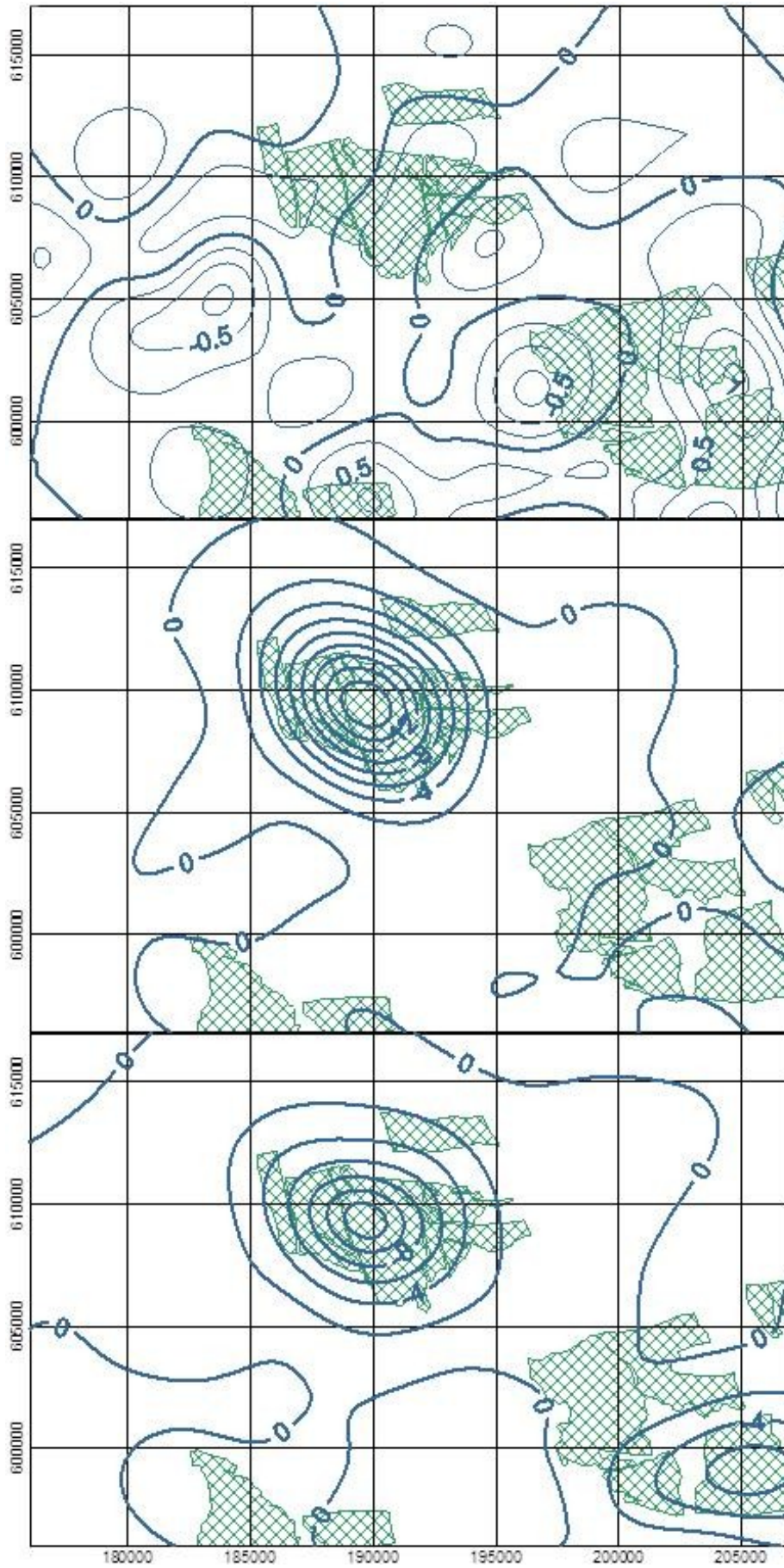


FIGUUR 17: PRECISIE RELATIEVE BODEMBEWEGING ROND AMELAND [MM]



FIGUUR 18: GEMETEN EN VOORSPELDE BODEMDALING AMELAND 1986-2011

De bodemdaling op het diepste punt op Ameland is opgelopen tot 359 mm met een onzekerheidsmarge van plus of min 15 mm. De afname van de dalingsnelheid is veel kleiner dan verwacht.



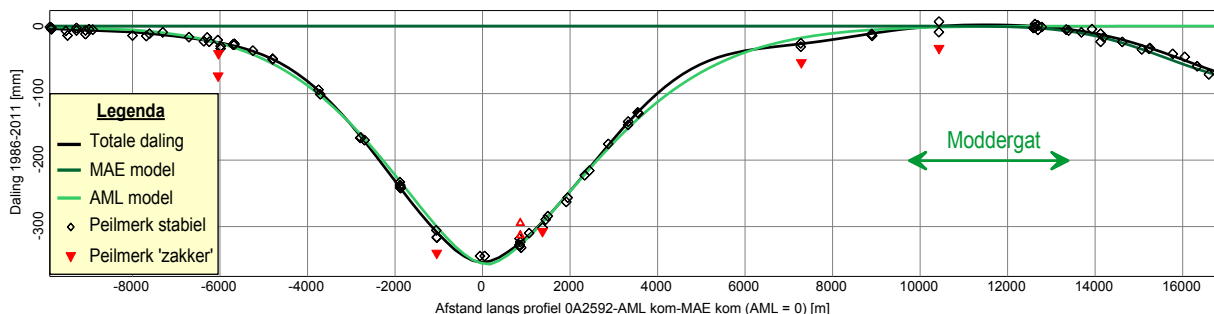
FIGUUR 19: BODEMDALINGSNELHEID IN MM/JR VAN BOVEN NAAR BENEDEN 1977-1986, 1986-1989, 1989-2009

Figuur 19 laat de gemiddelde bodemdalingsnelheid zien voor 3 periodes, die voorafgaande aan de gaswinning (1977-1986), die tussen de start van de gaswinning op Ameland en de start van de gaswinning in Anjum (1986-1998) en tenslotte die na aanvang van de gaswinning in Anjum (1998-2009). Er tekenen zich in de figuren 16, 18 en 19 slechts twee afzonderlijke mechanismen van enige importantie af: de gaswinning uit de Amelandvelden en die uit Metslawier, Anjum en Ezumazijl. Effecten van gaswinning uit de nieuwe Waddenzee velden, waaronder Nes en Moddergat zijn (nog) niet significant. Plaats en ontwikkeling in de tijd laten geen twijfel over de relatie tussen de bodemdaling kom boven Ameland en de gaswinning ter plekke. De hypothese van een ondiepe natuurlijke compactie component in de gemeten bodemdaling (Deltares, 2009) wordt door de afwezigheid van een bodemdalingpatroon met snelheden tussen 0.6 en 2.5 mm per jaar in Figuur 19 ten westen van de AME-1 locatie in de periode voorafgaande aan de gaswinning op Ameland eenduidig verworpen.

De karakteristieken van de twee gevonden kommen kunnen worden gevangen in komparameters. Deze variëren in de tijd. Die van de MAE kom zijn in Tabel 4 gegeven. De parameters van de AML kom bij laatste meting (01-02-2011) waren:

Parameter	Symbol	AML
X coördinaat komhart [m]	$x_{mid}$	189771
Y coördinaat komhart [m]	$y_{mid}$	609053
Lange komstraal [m]	$a$	2351
Korte komstraal [m]	$b$	1727
Kaarthoek lange komstraal [°]	$\alpha$	109
Afplatting	$\delta$	1.57
Diepte in komhart [mm]	$z_{max}$	-359

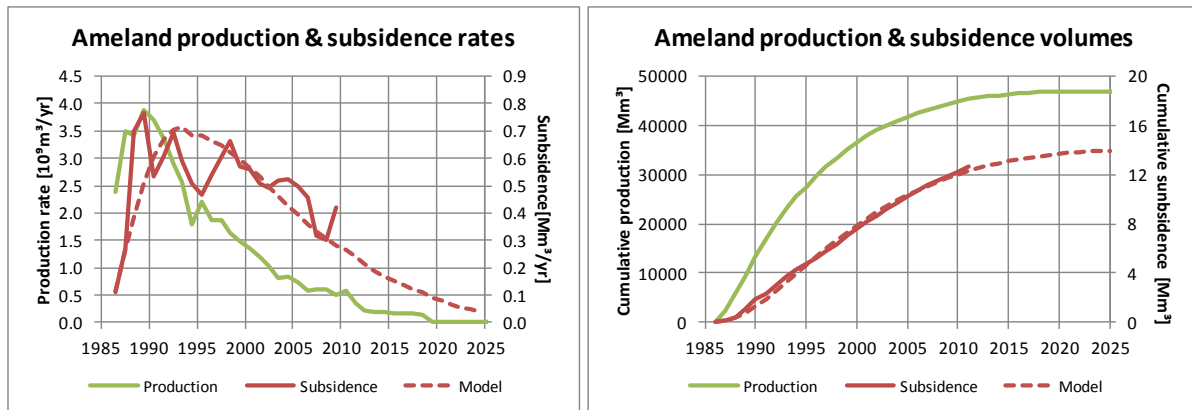
TABEL 6: KOMPARAMETERS AMELAND OP 01-02-2011



FIGUUR 20: BODEMDALING LANGS DE LIJN 000A2592-DIEPSTE PUNT AML - DIEPSTE PUNT MAE

Figuur 20 toont de totaal gemeten bodemdaling en de kommodellen per oorzaak langs de lijn van het ondergrondse NAP merk 000A2595 in Nes, Ameland via het diepste punt van de Amelandkom naar het diepste punt van de kom boven de MAE

velden (bruine lijn in Figuur 16). De hoogteverandering van de peilmerken binnen een kilometer van het profiel is langs de bodemdalingcontouren op de lijn geprojecteerd. De daling van de meetpunten ligt - afgezien van enkele uitschieters (rood) - binnen een +/- 12 mm brede puntruis band rond het door collocatie bepaalde bodemdalingprofiel. Boven Moddergat is nog geen significant meetbare bodemdaling opgetreden.



**FIGUUR 21: SNELHEID EN CUMULATIE VAN PRODUCTIE EN BODEMDALINGVOLUMES, AMELAND**

In Figuur 21 is de productiesnelheid (groen) en dalingsnelheid (rood) per jaar tegen de tijd uitgezet. De rode streeplijn geeft de bodemdalingsreactie op gerealiseerde en nog voorgenomen productie aan volgens (Houtenbos, 2007a). Ook in dit geval reageert de dalingssnelheid nauwelijks op de gedecimeerde productiesnelheid. De vertragingconstante bedraagt inmiddels 5.83 jaar. Vijf jaar geleden was dat nog 4.68 jaar. Het exponentieel afnemende response model sluit weliswaar veel nauwer aan bij het gemeten bodemdalingverloop in de tijd, dan het direct proportionele model, maar blijkt de na-ijleffecten nog altijd vrij sterk te onderschatten. Als de vertragingconstante niet verder zou oplopen zal de bodemdaling in 2035 ongeveer 42 cm bedragen.

## Gemeten tegen voorspeld

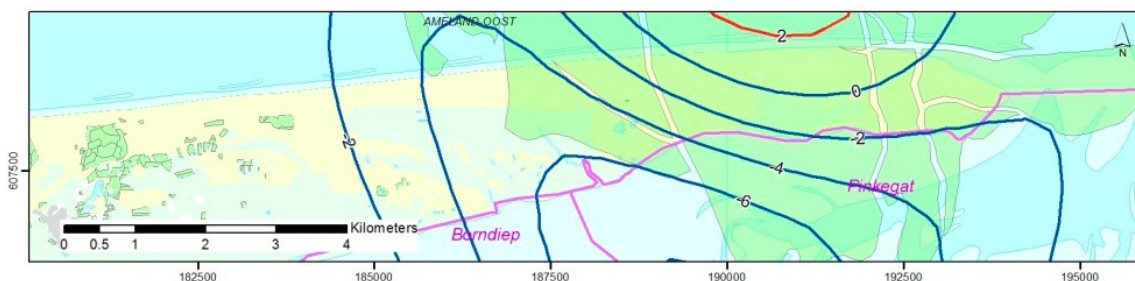
De bodemdaling door gaswinning uit de Ameland-Oost en Ameland-Westgat velden (Figuur 18) ontwikkelt zich duidelijk niet als geomechanisch voorspeld (NAM, 2003b). Van de sinds 2003 verwachte afvlakking is nog nauwelijks iets te zien. Hoewel inmiddels al 97% van het gas is gewonnen, is de bodemdalingvoorspelling nog altijd aan verandering onderhevig. Sinds 2003 volgen de wijzigingen van het winningsplan (Tabel 7) elkaar in rap tempo op. Deze wijzigingen kregen niet de vereiste instemming van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (ELI) en zijn pas recentelijk in de openbaarheid gekomen. In september 2011 diende NAM opnieuw een herzien winningsplan voor Ameland in. Dit plan zal niet vóór de audit van het bodemdalingonderzoek op Ameland op 09-12-2011 beschikbaar worden gesteld voor onafhankelijke wetenschappelijke beoordeling van de effecten. Het monitoring rapport Ameland 2011 (Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, 2011) licht al wel een tipje van de sluier op.

Bron	Einddatum [jaar]	Einddaling [cm]	+/- [cm]	Volume [Mm <sup>3</sup> ]
NAM 1998.09.000394, prognose 1985	2005	26	5	28
Basis monitoring programma 1987	?	31	-	-
NAM 1998.09.000394, prognose 1991	2025	18	4	18
NAM 1998.09.000394, prognose 1996	2020	18	4	-
NAM 1998.09.000394, prognose 1998	2020	28	6	18
Winningplan Ameland 22-12-2003	2020	34	3	-
Monitoring rapport mei 2005	2013	33		22
Winningplan Ameland 01-05-2006	2020	34	3	-
Winningplan Ameland 27-02-2007	2021	35	3	?
Winningplan Ameland 24-05-2007	-	-	-	?
Winningplan Ameland 09-2011	2035	39.5	2.5	20

TABEL 7: GEOMECHANISCHE VOORSPELLINGEN EINDDALING AMELAND

De voorspellingen van de NAM waren gebaseerd op een, niet in de praktijk geverifieerd, theoretisch model. De metingen over de afgelopen 50 jaar hebben inmiddels helder gemaakt dat bodemdalingskommen structureel dieper en steiler zijn dan theoretisch voorspeld en dat de dalingssnelheid nergens redelijk direct en proportioneel reageert op veranderingen van de productiesnelheid.

Met het gewijzigde winningsplan 2011 reageert NAM selectief op de verschillen tussen prognose en meting. De steilere bodemdalingskom resulteert in minder bodemdaling op het Wad en laat meer gebruiksruimte vrij voor groei van de gaswinning uit Nes en Moddergat. Deze winst wordt gepakt. De veel sterker na-ijlende bodemdaling levert verlies aan gebruiksruimte op. Dit effect is gemodelleerd als diffusie, maar lijkt nauwelijks verdisconteerd in de prognose.

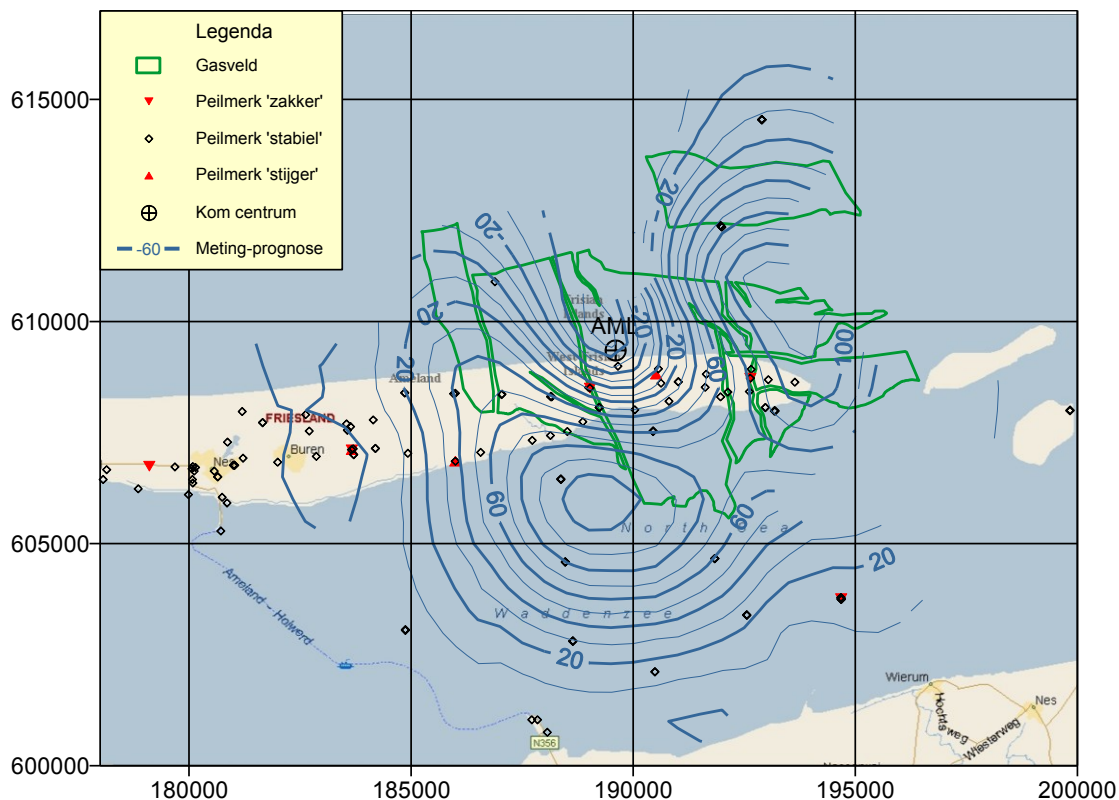


FIGUUR 22: VERSCHILCONTOUREN (CM) TUSSEN DE UITEINDELIJKE EN DE VOORLOPIGE PROGNOSIS VOOR 2011. BRON: MONITORING EFFECTEN VAN BODEMDALING OP AMELAND-OOST, 2011

Figuur 22 is een kopie van figuur 1.11 uit het monitoring rapport Ameland (Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, 2011). Het toont het



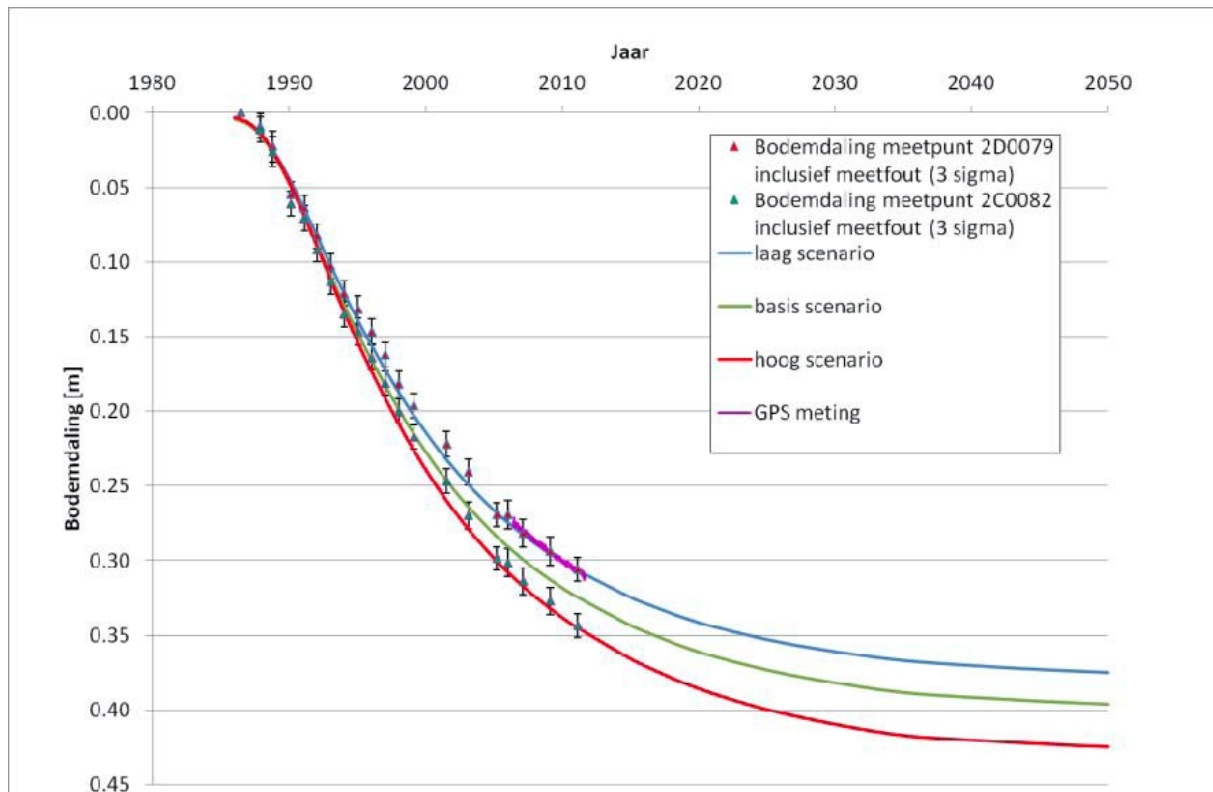
verschil tussen de uiteindelijke en de voorlopige prognose voor 2011 in de overlap 11 en is getalsmatig bijna exact gelijk aan is figuur 6 (Figuur 23 in dit rapport) uit de Bodemdalingsanalyse: Ameland 1986-2007 (Houtenbos, 2007b). De laatste figuur toont het verschil tussen in 2007 gemeten en voor 2007 voorspelde bodemdaling. Dit impliceert dat de uiteindelijke prognose voor 2011 nagenoeg exact gelijk is aan de meting van 2007 en dat de verschillen tussen de voorlopige en de uiteindelijke prognose 2011 variëren van +100 mm op het Wad tot -50 mm aan de Noordzeekust van Ameland. Door de kleinere kaartuitsnede van Figuur 22 verdoezelt NAM het feit dat de vroegere prognosefouten niet van -20 tot +60 mm, maar van -50 tot +100 mm lopen. De nauwkeurige overeenkomst tussen uiteindelijke prognose en metingen geven aan geeft ook de oorzaak van de betere passing van de uiteindelijke prognose suggereert ook een oorzaak: de voorlopige prognose is 10% meting en 90% theorie, de uiteindelijke 90% meting en 10% theorie. De verbeterde *fit* met de metingen is niet het gevolg van verbeteringen in de geomechanische modellering, maar juist van het negeren daarvan. Doordat gasproducenten sinds kort het kaartbeeld van het gekalibreerde geomechanische model niet naast, maar in plaats van het kaartbeeld van de gemeten daling publiceren, wordt de resterende 10% invloed van de geomechanica aan het zicht onttrokken. Juist die zichtbaarheid van de verschillen was in het verleden de drijvende kracht achter verbeteringen in de prognosemethodiek.



**FIGUUR 23: GEMETEN MIN VOORSPELDE BODEMDALING IN MM  
BRON: BODEMDALINGSANALYSE: AMELAND 1986-2007**

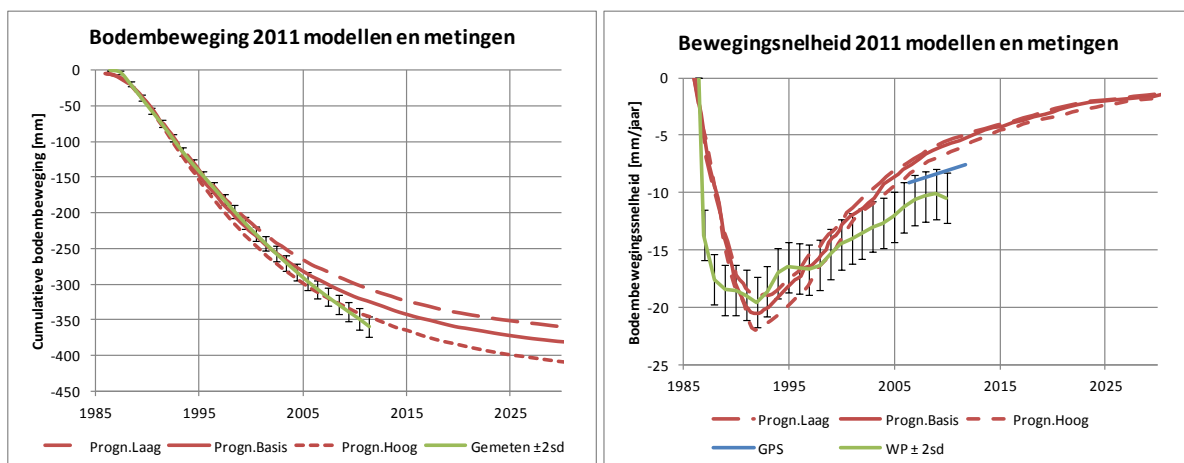
Figuur 24 is een kopie van kopie van figuur 1.8 uit het monitoring rapport Ameland (Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, 2011). De grafiek is voornamelijk bedoeld om de goede *fit* van de gemodelleerde bodemdaling met de gemeten daling in de tijd te tonen. De vergelijking gaat echter mank. Meetpuntdaling

buiten het diepste punt wordt vergeleken met bodemdaling in het diepste punt en alleen t.o.v. 2006 gemeten GPS antennedaling met bodemdaling t.o.v. 1986. Daarbij worden marges voor meetpunt daling i.p.v. bodemdaling getoond.



**FIGUUR 24: PEILMERKBEWEGING, CONTINUE GPS EN GEOMECHANISCHE MODELLEN**  
**BRON: MONITORING EFFECTEN VAN BODEMDALING OP AMELAND-OOST, 2011**

Figuur 25 laat links de in het diepste punt gemeten en voorspelde bodemdaling t.o.v. 1986 zien en rechts de gemeten en voorspelde bodemdalingsnelheid.



**FIGUUR 25: SCENARIO'S EN METINGEN. LINKS DALING, RECHTS DALINGSSNELHEID**

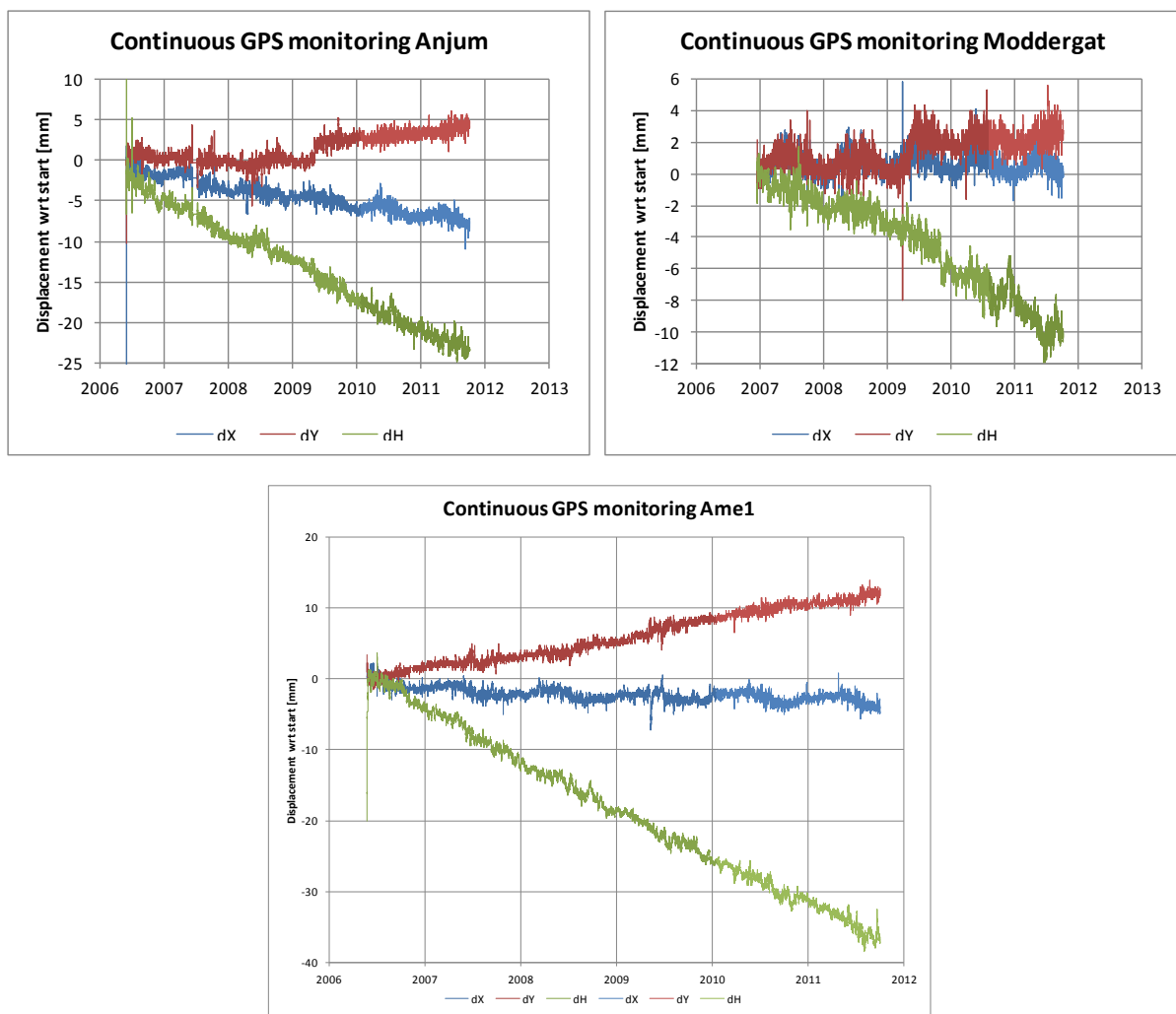
Van het begin van de winning tot vlak voor het bereiken van de maximale dalingsnelheid onderschatten alle drie scenario's de gemeten bodemdaling systematisch. Rond het bereiken van de pieksnelheid overschatten de scenario's de gemeten daling. Vanaf ongeveer 1998 volgt weer systematische onderschatting. Dit is consis-

tent met elders waargenomen patronen van discrepanties tussen de theoretische en gemeten relatie van productie en daling. De GPS metingen bevestigen deze systematische discrepantie. De tot het diepste punt herleidde snelheid (zie sectie Kanttekeningen - Continue GPS) ligt continue hoger en afname van de gemeten snelheid significant lager dan voorspeld in alle drie de scenario's. Geconcludeerd moet worden dat alle drie de nieuwe scenario's haaks staan op het totaal van de metingen. Onder de kop Kanttekeningen - Voorspellingsmethodiek wordt nader op de methodische aspecten hiervan ingegaan.

## KANTTEKENINGEN

### Continue GPS

Om tijdig onverwachte ontwikkelingen te kunnen signaleren zijn boven de velden Anjum, Moddergat en Ameland (bruine symbolen in Figuur 3) continue registrerende GPS stations ingericht.



**FIGUUR 26: GPS ANTENNE BEWEGING NAAR HET OOSTEN (BLAUW), NOORDEN (ROOD) EN BOVEN (GROEN)**

De gemeten daling van de GPS antenne verschilt door een aantal oorzaken van de bodemdaling in het diepste punt van de dalingskom:

- De daling van de GPS antenne weerspiegelt behalve de bodemdaling onder het GPS station ook de beweging van de GPS antenne ten opzichte van de bodem, zoals door warmte uitzetting of zetting van de meetpuntfundering.
- Het referentiepunt wordt in de berekening bewegingsloos verondersteld. De werkelijke beweging van het referentiepunt vertaalt zich in een tegengestelde beweging van het GPS station. Bij gebruik van meerdere referentiestations tegelijk - in dit geval 6 - wordt dit effect gedempt.
- Omdat het GPS station nooit precies in het centrum van de dalingskom staat, meet deze slechts een percentage van de daling in het diepste punt.

In Figuur 26 worden de drie bewegingscomponenten van de GPS metingen in Anjum, Moddergat en Ameland weergegeven. De metingen vertonen sprongen rond 14-05-2008 en 03-05-2009 en een cyclische verstoring met een periode van een jaar. Snelheid en versnelling van de componenten zijn samen met de verschuiving per onverstoorde periode en de fase en amplitude van de cyclische verstoring met een kleinste kwadraten methode uit de metingen bepaald (Tabel 8).

Parameter	Unit	Anjum			Moddergat			Ameland		
		dx	dy	dh	dx	dy	dh	dx	dy	dh
<b>Start</b>		02-06-2006 02:00			16-12-2006 06:00			27-05-2006 14:00		
<b>Start 2006</b>	mm	-0.6	0.8	-2.2	0.5	0.9	-0.3	-0.2	0.3	0.9
<b>14-05-2008</b>	mm	-0.1	1.0	-1.1	0.8	0.9	0.4	0.3	0.3	1.3
<b>03-05-2009</b>	mm	0.1	3.3	-2.1	0.9	2.6	-0.1	0.7	1.4	1.0
<b>End</b>		01-10-2011 23:00			01-10-2011 23:00			01-10-2011 23:00		
<b>Startsnelh.</b>	mm/j	-1.96	-0.97	-4.56	0.04	-0.32	-1.29	-1.53	1.78	-8.31
<b>Versnel.</b>	mm/j <sup>2</sup>	0.10	0.21	0.10	-0.04	0.05	-0.18	0.17	0.04	0.27
<b>Fase</b>	dagen	35	192	93	72	99	166	9	268	35
<b>Amplitude</b>	mm	0.4	0.1	0.2	0.6	0.4	0.1	0.6	0.1	0.1
<b>SD</b>	mm	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6

TABEL 8: KARAKTERISTIEKEN GPS METINGEN ANJUM, MODDERGAT EN AMELAND 2006-2011

De hoogtecomponent van Anjum en Moddergat springt 1 mm omhoog op 14-05-2008. Op 03-05-2009 verspringt de Y-component bij all drie de GPS stations ongeveer 1.7 mm. Mogelijk betreft dit een aanpassing van de coördinaten van de GPS referentiestations. Voor de bepaling van de werkelijke beweging van GPS antennes dienen de effecten van dergelijke aanpassingen uit de metingen worden verwijderd. Het zelfde geldt voor de cyclische seizoensinvloeden, die vooral in de X-component van de drie stations significant aanwezig zijn. Na opschoning resteert de relatieve horizontale en verticale bewegingssnelheid van de GPS antennes ten opzichte van de GPS referentiestations op zo'n 40 km afstand van het onderzoeksgebied (Tabel 9).

Parameter	Anjum			Moddergat			Ameland		
	dh/dt mm/j	dr/dt mm/j	azim deg	dh/dt mm/j	dr/dt mm/j	azim deg	dh/dt mm/j	dr/dt mm/j	azim deg
Start	02-06-2006 02:00			16-12-2006 06:00			27-05-2006 14:00		
Start 2006	-4.6	2.2	244	-1.3	0.3	173	-8.3	2.4	319
End	01-10-2011 23:00			01-10-2011 23:00			01-10-2011 23:00		
End 2011	-4.0	1.4	277	-2.2	0.1	241	-6.9	2.1	343

TABEL 9: SNELHEID EN RICHTING HORIZONTALE (DR/DT) EN VERTICALE (DH/DT) BEWEGING

De dalingssnelheid in Anjum is tussen 2006 en 2011 13% afgenomen, die in Moddergat 69% toegenomen.

Uit de verhouding tussen de horizontale en verticale snelheid op het GPS station kan met behulp van (Geertsma, 1973) bij grove benadering worden vastgesteld waar het zwaartepunt van de beweging door winning zich in 2011 bevond en wat daar de verticale bewegingsnelheid was. Daarvoor moeten nog wel de invloeden van de MAE en Moddergat/Nes gaswinning op de totaal in Moddergat met GPS gemeten beweging worden gescheiden. In 2006 was winning uit de Moddergat/Nes velden nog niet begonnen. De, toen in Moddergat gemeten, beweging komt dus uitsluitend voor rekening van de gaswinning uit de MAE velden. Door deze in 2006 in Moddergat gemeten beweging proportioneel met de in Anjum gemeten beweging te extrapoleren naar 2011 en in mindering te brengen op de in 2011 in Moddergat gemeten beweging resteert de bijdrage van Moddergat/Nes. Tabel 10 geeft de plaats en verticale snelheid van het zwaartepunt van de bodemdaling in 2011. In de kolom 'NAM dh/dt' zijn de in (NAM, 2011a) gerapporteerde verticale snelheden weergegeven. Vergelijking met de snelheid in de laatste kolom zet vraagtekens bij de bruikbaarheid van door NAM gerapporteerde gegevens als stuurparameter voor winning met de 'Hand aan de kraan'

Winning	station	NAM dh/dt	GPS dh/dt	GPS - zwaartepunt		zwaartepunt		
				afstand	richting	RD-X	RD-Y	dh/dt
MAE	anjm	-3.0	-4.0	2096	277	203851	598805	-4.7
MGT/NES	modd	-3.4	-1.0	1312	322	199430	603358	-1.1
AML	amel	-6.8	-6.9	2299	343	189789	611017	-7.6

TABEL 10: RELATIE DALINGSSNELHEID IN GPS STATION EN ZWAARTEPUNT VAN DE DALING

Het zwaartepunt van de daling door de Moddergat/Nes winning ligt ongeveer een kilometer verder het Wad op dan voorspeld. Dit betekent enerzijds dat de belasting van de gebruiksruimte in het Pinkegat groter zal zijn dan voorspeld en anderzijds dat de meetpunt dichtheid in de veroorzaakte bodemdaling onvoldoende zal zijn om de volumeontwikkeling van de bodemdaling adequaat te kunnen volgen.

## Toegang tot meetgegevens

De belangen van mijnbouwondernemingen bij de specificatie van bodemdaling naar oorzaak en publicatie van verschillen tussen verwachte en gemeten daling lopen niet parallel aan die van lokale overheden, natuurorganisaties en individuele burgers. Zolang de bewijslast niet is omgedraaid, heeft de gasproducent het voordeel van de twijfel bij geschillen over schade door gaswinning. Tegen deze achtergrond is het begrijpelijk, maar daarom nog niet acceptabel, dat de sector nauwelijks vooruitgang boekt in de eenduidige bepaling van opgetreden bodemdaling en de betrouwbare voorspelling van te verwachten daling.

Om de rechtspositie van potentieel schadelijgende partijen enigszins dragelijk te maken, is het ten minste noodzakelijk de vrije en tijdige toegang tot alle gegevens die nodig zijn voor een onafhankelijk oordeel over de bodembewegingsrisico's veilig te stellen. Dit betreft behalve de geodetisch metingen (waterpassing, GPS, InSar), met name ook de productie- en drukhistories en plaats en grootte van gasvoerende en daarmee in drukcommunicatie staande, watervoerende pakketten. De sector verschuilt zich in dit verband nog onnodig veel achter geclaimd bedrijfsgeheim. De praktijk om in ruil voor vrijgave van dit soort gegevens in ruil voor een mate van controle over publicatie van onderzoeksresultaten te eisen dient teruggedrongen te worden. Om de schijn van selectieve vrijgave van meetgegevens te vermijden zou vrije toegang tot de ruwe meetgegevens onmiddellijk na acquisitie gewaarborgd moeten worden.

De verplichte publicatie van meetgegevens in de vorm van een differentiestaat dient geen zinvol doel. Belanghebbenden zijn het meest gediend met publicatie binnen 12 weken van de gemeten bodemdaling in de vorm van een contourkaart en een grafiek met het verloop van de daling in het diepste punt na de metingen. Vrijgave van ruwe metingen voor onafhankelijk onderzoek onmiddellijk na acquisitie maakt kruisbestuiving voor publicatie van de onderzoeksresultaten mogelijk.

## Rekenmethodiek

De betrouwbaarheid van bodemdalingcijfers, die uit de metingen worden afgeleid, wordt bepaald door de mate waarin de metingen op interne consistentie worden getoetst. Bij metingen ten behoeve van de bepaling van bodemdaling is anders dan bij die ten behoeve van de bepaling van hoogtes consistentie in de tijd cruciaal. De verplicht gestelde rekenmethode is ontworpen als tussenstap in de bepaling van hoogtes en is dan ook niet geschikt voor de verwerking van deformatiemetingen tot betrouwbare bodemdalingcijfers. Het onontdekt blijven van een ontwrichtende systematische fout in de waterpassing Noord-Nederland 2003 (Figuur 5) is daar een sprekend voorbeeld van. Integrale 3D vereffening en toetsing (Houtenbos, 2005) is essentieel voor de betrouwbaarheid. Waar de gangbare rekenmethodes verzamelingen hoogtes opleveren zonder ruimtelijke en temporele samenhang, detecteert de integrale 3D analyse systematische patronen van discrepanties tussen gemeten en geomechanisch voorspelde bodemdaling. De integrale 3D vereffening wint terrein, maar formeel wordt nog altijd vrije vereffening per epoche geëist. Ten behoeve van de monitoring op Ameland is additioneel een integrale 3D analyse uitgevoerd, maar

de resultaten daarvan zijn niet openbaar gemaakt. Voor betrouwbare bodemdalingcijfers dient integrale 3D analyse en publicatie van de resultaten daarvan zo snel mogelijk verplicht te worden gesteld.

## Voorspellingsmethodiek

Gemeten bodemdalingen zijn structureel dieper en steiler dan geomechanisch voorspeld. De cumulatieve bodemdaling is bovendien veel meer proportioneel met de tijd dan met het cumulatieve productievolume. De controlerende instanties, SodM, TNO en TCBB, zijn al sinds 2000 op de hoogte van deze structurele verschillen tussen de theoretisch gemodelleerde en werkelijk gemeten bodemdaling, maar hebben deze - voor zover bekend - tot voor kort in hun advisering over nieuwe winningsplannen of in de publieksvoorlichting niet ingebracht. De fouten in de geomechanische voorspellingsmethodiek konden te lang verborgen blijven achter de door SodM opgelegde ondeugdelijke geodetische analysemethodiek.

De laatste jaren is kalibratie van een verregaand geflexibiliseerd geomechanisch model tegen de metingen in zwang gekomen. Hierbij worden de geomechanische modelparameters zodanig gekozen dat daarmee berekende bodemdaling overeenkomt met de gemeten daling. Dit garandeert consistente combinaties van model en modelparameters, maar doet dat ongeacht de juistheid van het model. Kalibratie zal ook passende parameters geven voor een onjuist model. Onjuist in de zin dat extrapolatie naar de toekomst onjuiste resultaten geeft. Consistentie met de metingen is daarom geen maatstaf voor de juistheid van een geomechanisch model. Parameters, waarvan het effect pas in de toekomst merkbaar is, zoals het bezwijken van een permeabiliteitsbarrière bij een zeker drukverschil, laten zich niet kalibreren tegen de metingen. En juist in de tijdsdimensie lijkt het probleem te liggen. Alle nu denkbare scenario's vertonen systematische afwijkingen van de gemeten daling (Figuur 25) of laten de dalingsnelheid meer proportioneel met de productiesnelheid afnemen dan waargenomen bij alle oudere gasvelden (Figuur 12). Het bestaande model is kennelijk fundamenteel onjuist en het juiste model nog niet gevonden. Ook het *gradual response* model (Houtenbos, 2007a) en het daarop lijkende, maar andere resultaten opleverende, diffusiemodel (NAM, 2010b) hebben daar geen verandering in kunnen brengen. Deze beide modellen lijken bovendien in strijd met figuur 6.4 in (NAM, 2010b), dat proportionaliteit tussen druk en compactie in het gasvoerende pakket aantoonde en daarmee ook proportionaliteit - binnen iets ruimere marges - tussen productie en bodemdaling suggereert. Mogelijk ligt de oplossing in later en trager meedepletende watervoerende pakketten, die nu nog zo onwaarschijnlijk worden geacht, dat zij in de statistische kalibratie geen rol van betekenis spelen. Wellicht is het niet zozeer de vraag of watervoerende pakketten in drukcommunicatie met het te produceren gas mee zullen depletteren, maar meer wanneer en hoe snel.

Inmiddels wordt er wel op vertrouwd dat de bodemdaling beheersbaar is via 'productie met de hand aan de kraan'. De metingen wijzen structureel uit dat deze beheersbaarheid van toekomstige daling een geloofsartikel is, niet een empirisch bewezen feit.

Extrapolatie van de gemeten relatie tussen productie en daling zonder tussenkomst van enig geomechanisch model is structureel trefzekerder gebleken dan geomechanische voorspelling. Het ligt daarom voor de hand op dit gemeten kompas verder te varen en parallel daaraan te zoeken naar een geomechanisch model dat het gemeten gedrag zonder systematische afwijkingen kan volgen.



## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

1. Vaststelling van de bodemdaling ten oosten van het Lauwersmeer is ernstig verstoord door een systematische fout in de waterpassing van 2003. De controles van Rijkswaterstaat en Staatstoezicht op de Mijnen zijn onvoldoende gebleken om dergelijke fouten uit te sluiten. Ter voorkoming van herhaling is onderzoek naar de oorzaak -meettechnisch of geknoei met de meetgegevens - een eerste vereiste.
2. Boven de in 2007 begonnen gaswinning uit de Waddenvelden is nog weinig bodemdaling gemeten. De onzekerheid in de voorspellingen is dusdanig groot, dat niet geconcludeerd mag worden dat de bodemdaling ook in de nabije toekomst onder de verwachting zal blijven. Het Nesveld bevat driemaal zoveel gas als oorspronkelijk gedacht. De bodemdaling ter plekke zal daardoor in beginsel ook driemaal groter zijn. De meetpunt dichtheid op het Wad is te laag om de belasting van de Waddenvelden op het Wad voldoende nauwkeurig te kunnen volgen.
3. De bodemdaling door gaswinning uit oudere velden rond het Lauwersmeer is opgelopen tot 9 cm bij Zoutkamp en 8 cm bij Anjum. Op de beide plaatsen daalt de bodem nog met ongeveer een halve centimeter per jaar.
4. De bodem op Ameland is 36 cm gedaald. De daling neemt met 1 cm per jaar toe. Uiteindelijk zal de daling op Ameland meer dan 42 cm bedragen. Er zijn geen aanwijzingen dat andere oorzaken dan gaswinning hebben bijgedragen aan de op Ameland gemeten bodembeweging.
5. Prognoses voor toekomstige daling blijken zelfs voor gasvelden, die na 25 jaar winning bijna leeg zijn, nog buitengewoon onbetrouwbaar te zijn. Ook de recent herziene prognoses voor de Ameland- en de Waddenvelden onderschatten de te verwachten daling nog fors.
6. Ondanks decimering van de winning uit de gasvelden Ameland en Anjum liep de snelheid van de bodemdaling maar met de helft terug. De beheersbaarheid van bodemdaling door gaswinning via 'productie met de hand aan de kraan' is een eenduidig door alle metingen weerlegde utopie.
7. Zolang de bewijslast bij schade niet is omgekeerd, houdt de gasproducent het voordeel van de twijfel en loont het onzekerheden in de relatie tussen winning en daling juist niet te verkleinen. De verplichting om peilmerkdaling op een minder precisie manier uit de metingen te berekenen en in onbruikbare vorm te publiceren houdt de onzekerheden onnodig groot. Publicatie van geomechanisch gemodelleerde in plaats van gemeten bodemdaling verdoezelt bovendien de subjectieve invloed van de gasproducent. Het verdient aanbeveling integrale 3D analyse verplicht te stellen, ruwe metingen onmiddellijk na acquisitie vrij te geven voor onafhankelijk onderzoek en de gemeten bodemdaling uiterlijk 12 weken daarna te publiceren in de vorm van een contourkaart en een grafiek met het verloop van daling op het diepste punt.
8. Extrapolatie van de gemeten relatie tussen productie en daling zonder toekomst van enig geomechanisch model is consequent trefzekerder gebleken dan geomechanische voorspelling. Het is aan te bevelen de beste methodiek in onafhankelijk experimenteel onderzoek te bevestigen.

## GECITEERDE WERKEN

- Barends, F. (2011). *Introduction to Soft Soil Geotechnique. Content, Context and Application*. IOS Press BV, ISBN 978-1-70750-788-8/789-5.
- Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. (2011). *Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland Oost. Evaluatie na 23 jaar gaswinning*.
- Deltares. (2009). *Differentiele bodemdaling als gevolg van compactie in de diepe tot matig diepe ondergrond van Ameland-Oost*. [www-static.shell.com/static/nam-nl/downloads/waddenzee/monitoring/2009-differentiele\\_bodemdaling\\_ameland\\_oost.pdf](http://www-static.shell.com/static/nam-nl/downloads/waddenzee/monitoring/2009-differentiele_bodemdaling_ameland_oost.pdf).
- Geertsma, J. (1973). *A basic theory of subsidence due to reservoir compaction: the homogenous case*. Verhandelingen van het Koninklijk Nederlands geologisch mijnbouwkundig Genootschap, Deel 28, pp. 43-62.
- Houtenbos, A. (2007b). *Bodemdalingsanalyse: Ameland 1986-2007*. <http://www.waddenzee.nl/fileadmin/content/Bodemdaling/2007/AML07.pdf>.
- Houtenbos, A. (2007a). *Subsidence and gas production: an empirical relation*. [www.novatv.nl/uploaded/FILES/Bijlage%20Rapport%20Houtenbos.doc](http://www.novatv.nl/uploaded/FILES/Bijlage%20Rapport%20Houtenbos.doc).
- Houtenbos, A. (2005). *Subsidence from geodetic measurements in the Ravenna Area*. ISBN 90 5966 041 2. Proceedings SISOLS, Shanghai, P.R. China, Special vol. pp 79-99.
- Houtenbos, A. (2004). *Subsidence residuals modelling. SuRe users manual (Draft version)*.
- NAM. (2011b). *Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Meet- en regelcyclus 2010*. [www.nam.nl](http://www.nam.nl).
- NAM. (2011a). *Continue GPS hoogtemetingen AME-1, Moddergat en Anjum. September 2011*. [www.nlog.nl/EP20110214088](http://www.nlog.nl/EP20110214088).
- NAM. (2010b). *Bodemdaling door Aardgaswinning, NAM-velden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe, Status rapport 2010 en Prognose tot het jaar 2070*. [www.nam.nl](http://www.nam.nl).
- NAM. (2010a). *Differentiestaat\_006B0021\_Waddenzee.pdf*. [www.nlog.nl/resources/Meetregisters/Noord-Nederland/Differentiestaat\\_006B0021\\_Waddenzee.pdf](http://www.nlog.nl/resources/Meetregisters/Noord-Nederland/Differentiestaat_006B0021_Waddenzee.pdf).
- NAM. (2008). *Winningsplan Grijpskerk Noord (actualisering) dd 06-03-2008*. [www.nlog.nl](http://www.nlog.nl).
- NAM. (2005). *Winningsplan Moddergat Lauwersoog en Vierhuizen 31/12/2005*.
- NAM. (2003b). *Winningsplan Ameland dd. 22-12-2003*. [dinodds51.dinonet.nl/deliverables/sync/NLOG\\_FieldAsset\\_6636\\_20070706-2-07-Pub\\_Public\\_Winningsplan\\_Ameland.pdf](http://dinodds51.dinonet.nl/deliverables/sync/NLOG_FieldAsset_6636_20070706-2-07-Pub_Public_Winningsplan_Ameland.pdf).

NAM. (2003a). *Winningsplan Anjum dd. 19-12-2003*.

[dinodds51.dinonet.nl/deliverables/sync/NLOG\\_FieldAsset\\_3391\\_20070706-4-04-Pub\\_Public\\_Winningsplan\\_Anjum.pdf](http://dinodds51.dinonet.nl/deliverables/sync/NLOG_FieldAsset_3391_20070706-4-04-Pub_Public_Winningsplan_Anjum.pdf).

TCBB. (2009). *Van meting naar daling (Finale versie)*. Technische Commissie Bodembeweging. [www.tcbb.nl](http://www.tcbb.nl).