

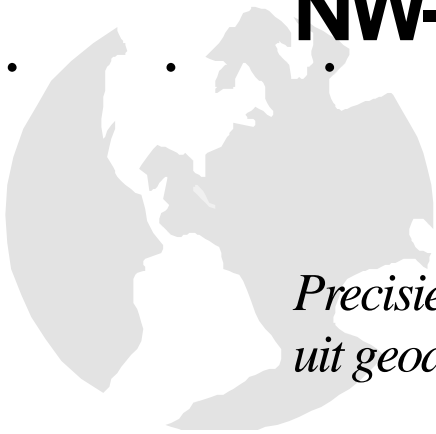


De Esstukken 18  
9751 HB Haren (GN)  
Tel: 050-5341532  
E-mail: houtenbos@home.nl

---

ir. a.p.e.m. houtenbos

# **Bodemdalinganalyse NW-Friesland 1988-2007**



*Precisie en betrouwbaarheid  
uit geodetische metingen*

*2 april 2008*

---

# Bodemdalinganalyse NW-Friesland 1988-2007

*Precisie en betrouwbaarheid  
uit geodetische metingen*

## Samenvatting

Vanaf 1988 wordt gas gewonnen uit het Harlingen Boven Krijt veld bij Franeker. Sinds 1995 wordt ook zout gewonnen uit oploscavernes bij Sexbierum en Tzumarum. De mijnbouwwetgeving vereist een beschrijving van de te verwachten bodemdaling en metingen om de werkelijke bodemdaling te bepalen en daarmee de verwachtingen te kunnen verifiëren. De verwachtingen zijn bepalend voor maatregelen om schade door bodemdaling te beperken. In dit rapport zijn de metingen tot en met 2007 geanalyseerd en vergeleken met de verwachting.

Sinds 1988 is de bodem midden boven het Harlingen gasveld ruim 23 cm gedaald. Tussen de laatste 2 metingen had de bodemdaling boven het gasveld een snelheid van 2.3 cm per jaar. De gaswinning heeft 21.5 cm bijgedragen aan de totale bodemdaling boven het gasveld, de zoutwinning iets meer dan 1 cm. Andere oorzaken spelen geen aanwijsbare rol van betekenis. De bodem aan de westrand van Franeker is inmiddels 14 cm gedaald en zet door met een snelheid van 1.7 cm per jaar.

Na de 2006 meting stelde Vermilion de bodemdaling door gaswinning in 2006 op 9 à 10 cm met een verwachte toename tot 12 à 13 cm in 2016. De in 2007 gemeten bodemdaling door gaswinning (21.5 cm) is veel hoger dan de verwachte daling ( $\approx 10$  cm). De dalingsnelheid (2.3 cm/jaar) is zelf alarmerend hoger dan de Vermilion veronderstelde ( $\approx 0.5$  cm/jaar).

De beheersmaatregelen van het Wetterskip Fryslân gaan uit van maximaal 20 cm bodemdaling boven het gasveld. De gemeten daling heeft deze grens inmiddels ruim overschreden en zet door met een snelheid van 2.3 cm per jaar. Hierdoor is hernieuwde afstemming van de beheersmaatregelen nodig. Zo lang de oorzaak van de onverwacht snelle bodemdaling bij Franeker wordt miskend als ‘autonome daling’ zal de oorzaak echter niet kunnen worden aangepakt en de maat van schadebeperkende ingrepen niet kunnen worden bepaald.

Boven de BAS-1 en BAS-2 zoutcavernes van Frisia Zout is de bodem 32.5 cm gedaald. Hiervan is 30.5 cm veroorzaakt door zoutwinning uit de BAS-1 en BAS-2 cavernes zelf en 2 cm door gaswinning uit het Harlingen veld. De daling is sinds de vorige meting in 2006 nauwelijks toegenomen. Wel meent de breedte en daarmee het volume van de bodemdalingsschotel nog iets toe. Daling en dalingsnelheid komen overeen met de verwachting van Frisia in 2006.

Boven de in 2004 in productie genomen BAS-3 zoutcaverne bedraagt de bodemdaling inmiddels 12 cm. Hiervan is 7.5 cm veroorzaakt door zoutwinning uit de BAS-3 caverne, 3 cm door zoutwinning uit BAS-1 en BAS-2 cavernes en ongeveer 1 cm door gaswinning uit het Harlingen veld. De daling ontwikkelt zich met een snelheid van 2.5 cm/jaar. Deze snelheid past binnen de door Frisia gerapporteerde verwachting ( $< 3$  cm/jaar).

Bodemdaling boven de in 2006 in productie genomen BAS-4 zoutcaverne was nog te gering voor een zinvolle analyse.

De bodem ten zuiden van Pietersbierum en ten westen van Franeker is inmiddels zover gedaald, dat in combinatie met het ongewijzigde polderpeil de kans op scheurvorming in de bebouwing significant is toegenomen.

Het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heeft de opdracht zeker te stellen dat delfstofwinning op een maatschappelijk verantwoorde wijze wordt uitgevoerd. Ondanks stevige kritiek op de deskundigheid en onpartijdigheid, waarmee SodM de bodemdaling door delfstofwinning vast stelt, is een inhoudelijk wetenschappelijk debat tot dus verre uitgebleven. De weigering de manier waarop de bodemdaling door gaswinning is vastgesteld vrij te geven voedt de scepsis ten aanzien van de objectiviteit en transparantie, waarmee de overheid aansprakelijkheid voor schade door delfstofwinning afhandelt.

## **Inhoudsopgave**

<b>Inleiding .....</b>	<b>1</b>
<b>De metingen .....</b>	<b>3</b>
<b>Toetsing en vereffening.....</b>	<b>4</b>
<b>Methodiek .....</b>	<b>4</b>
<b>Toetsing .....</b>	<b>5</b>
<b>Totale bodemdaling .....</b>	<b>6</b>
<b>Bodemdaling naar oorzaak.....</b>	<b>7</b>
<b>Methodiek .....</b>	<b>7</b>
<b>Oorzakelijke toewijzing .....</b>	<b>7</b>
<b>Bodemdaling door gaswinning .....</b>	<b>11</b>
<b>Bodemdaling door zoutwinning .....</b>	<b>15</b>
<b>Discussie .....</b>	<b>18</b>
<b>Open, eerlijke beeldvorming .....</b>	<b>18</b>
<b>Productielimiet gaswinning.....</b>	<b>19</b>
<b>Schadebeperkende maatregelen.....</b>	<b>19</b>
<b>Conclusies.....</b>	<b>21</b>
<b>Referenties .....</b>	<b>22</b>

## Inleiding

Ten westen van Franeker wordt door Vermilion Oil & Gas Netherlands B.V (Vermilion) gas gewonnen uit het Harlingen Boven Krijt (HRL) veld. Deze winning is begonnen in 1988. Frisia Zout B.V. (Frisia) wint zout uit de Barradeel en Barradeel II concessies. De winning via de BAS-1 en BAS-2 oploscavernes ten zuiden van Sexbierum is begonnen in 1995 en loopt nu ten einde. In 2004 is de BAS-3 caverne ten oosten van Sexbierum in gebruik genomen, gevolgd door de BAS-4 caverne ten zuiden van Tzumarum in 2006. Op onderstaande overzichtskaart zijn de blokken van het HRL gasveld groen omlijnd en de productieputten en zoutcavernes gemarkeerd met een zwarte ster.



Figuur 1: Overzichtskaart

De mijnbouwwetgeving vereist een beschrijving van de te verwachten bodemdaling en metingen om de werkelijke bodemdaling te bepalen en daarmee de verwachtingen te kunnen verifiëren. De verwachtingen zijn bepalend voor maatregelen om schade door bodemdaling te beperken.

In 2007 werd een nieuwe meting verricht. Deze meting is in dit rapport integraal met alle voorgaande metingen getoetst, vereffent en ontleed in bodemdalingbijdragen per oorzaak. De resultaten zijn ten slotte vergeleken met de verwachting.

De analyse in dit rapport beperkt zich tot de periode en het gebied waarin van de gaswinning uit het Harlingen veld en de zoutwinning uit de Barradeel concessies significante effecten worden verwacht. De metingen rond de BAS-4 caverne laten nog weinig bodemdaling zien. De analyse is daarom als volgt afgebakend:

<b>Parameter</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<b>RD X-coördinaat</b>	158000	165400
<b>RD Y-coördinaat</b>	576000	583000
<b>Datum</b>	01-09-1988	31-12-2007

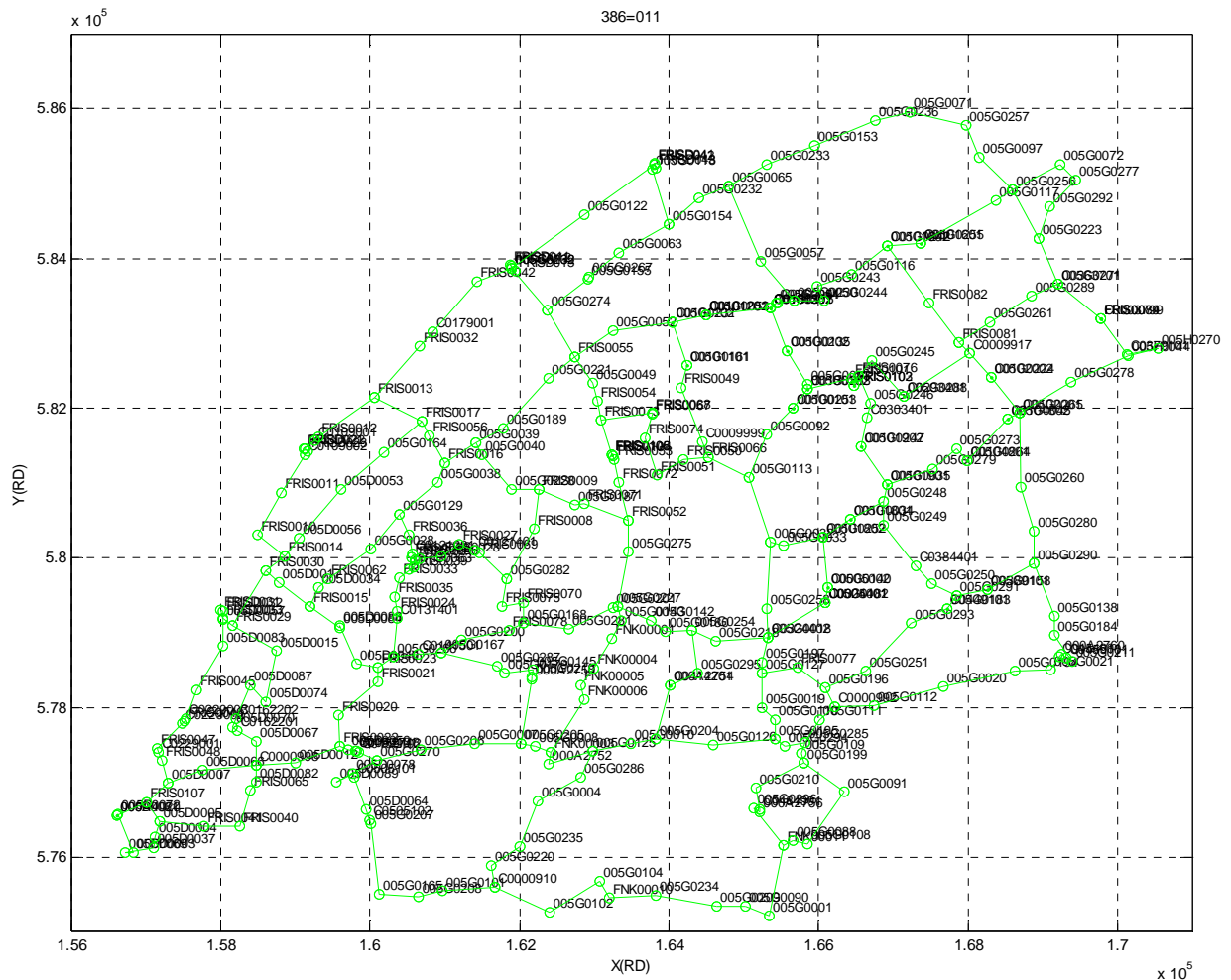
*Tabel 1: Analyse afbakening*

In hoofdstuk 2 worden de metingen beschreven, in hoofdstuk 3 de vereffening en toetsing. In hoofdstuk 4 wordt de totale gemeten bodemdaling ontleed in bijdragen per oorzaak en in hoofdstuk 5 worden enkele gerelateerde thema's nader belicht. Ten slotte volgen de conclusies in hoofdstuk 6.

## De metingen

Bij de 2006 analyse [1] waren 21 meetcampagnes over de periode 1988-2006 betrokken. In deze analyse wordt daar de 2007 campagne aan toegevoegd. Anders dan in het verleden te doen gebruikelijk zijn de 2007 metingen direct van Rijkswaterstaat, Data-ICT-Dienst (DID) verkregen en niet overgenomen uit de gepubliceerde meetregisters. Via deze weg zijn de meetgegevens belangrijk sneller en in meer oorspronkelijke staat beschikbaar voor analyse.

De toegevoegde 2007 meetcampagne (RWS-DID projectnummer: 386=011) is weergegeven in de volgende figuur:



Figuur 2: Meetnetwerk Barradeel+Leeuwarden-West 2007-09

In totaal zijn 22 meetcampagnes met 2003 hoogteverschilmetingen tussen 339 peilmerken in de afgebakende analyse betrokken. Na eliminatie van slechts eenmaal aangemeten punten en reductie van de betrokken metingen resteerden 1847 metingen tussen 184 peilmerken.

## Toetsing en vereffening

### Methodiek

De metingen uit alle campagnes zijn simultaan en integraal getoetst en vereffend in de veronderstelling dat:

1. bodemdaling beschreven kan worden als de som van drie componenten:
  - a. een door de relatieve aard van de metingen onmeetbare absolute beweging van het referentievlak
  - b. een continu model in ruimte en tijd dat de bodemdaling ten opzichte van het referentievlak bij benadering aangeeft.
  - c. een normaal verdeeld geleidelijk in ruimte en tijd verlopend restsignaal
2. de daling van de peilmerken ten opzichte van de bodem, waarin zij nooit helemaal stabiel verankerd zijn, normaal verdeeld is rond een en het zelfde onbekende gemiddelde, geleidelijk in tijd verloopt, maar niet ruimtelijk gecorreleerd is.
3. meetruis in de hoogteverschilmetingen ongecorrleerd is in ruimte en tijd.

Op punten dicht bij elkaar zal de bodem ongeveer even snel dalen, maar peilmerken dicht bij elkaar kunnen met totaal verschillende snelheden in die bodem zetten. Dit is afhankelijk van individuele, van peilmerk tot peilmerk verschillende, funderingseigenschappen.

De correlaties in ruimte en tijd zijn in de vereffening consequent in rekening gebracht door middel van kleinste kwadraten voorspelling [1]. Deze geostatistische methodiek wordt ook wel 'Kriging' of 'collocatie' genoemd.

Het gedrag van de ruiscomponenten is als volgt geparametriseerd:

Component	StDev [mm]	Tijds exponent	Corr. lengte [m]	Variantiebijdrage aan dalingsverschil
Meetruis	$\sigma_{obs}$	-	-	$2\sigma_{obs}^2 \sigma_{wp}^2 (l/1000)$
Puntruis	$\sigma_{stb}$	p	-	$2\sigma_{stb}^2 t^{2p}$
Modelruis	$\sigma_{mod}$	q	L	$2\sigma_{mod}^2 t^{2q} \left(1 - e^{-(l/L)^2}\right)$

Tabel 2: Parametrisering ruiselementen

De ruisparameters zijn via een variantiecomponentanalyse bepaald uit de metingen zelf.

Het benaderingsmodel is in dit geval opgebouwd uit componenten van de vorm:

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

$$\text{met } r^2 = \left( \left( (x-x_0) \sin \alpha + (y-y_0) \cos \alpha \right) / a \right)^2 \dots$$

$$\dots + \left( \left( (x-x_0) \cos \alpha - (y-y_0) \sin \alpha \right) / b \right)^2$$

waarin  $x_0, y_0$  de coördinaten van het komcentrum,  $a, b$  de maximum en minimum komstraal,  $\alpha$  de kaarthoek van de maximale komstraal en  $\delta$  de komvormparameter representeren. De parameterwaarden zijn iteratief uit metingen bepaald.

De waarnemingen zijn specifiek getoetst op de volgende condities:

1. meetfout, d.w.z. een individueel gemeten hoogteverschil dat niet past in het ruimtelijke en temporale patroon, opgespannen door de overige metingen.
2. identificatiefout, d.w.z. een berekende hoogte van een individueel peilmerk dat op één enkel tijdstip niet past in bij het verloop in de tijd beschreven door de metingen op de overige tijdstippen.
3. peilmerkverstoring, d.w.z. een sprong in het overigens geleidelijke verloop van de hoogte van een individueel peilmerk in de tijd..
4. abnormale bewegingsnelheid, d.w.z. een statistisch abnormale bewegingssnelheid van een individueel peilmerk ten opzichte van die van omliggende peilmerken.

In de vereffening worden de metingen geschoond voor meetruis en peilmerkinstabiliteit (puntruïis) en wordt ten slotte de relatieve bodemdaling bepaald uit de som van het benaderingsmodel en het vereffende bodemdalingsrestsignaal.

### Toetsing

De iteratieve vereffening, toetsing en verwerping convergeert in een onderling consistent geheel van metingen, benaderingsmodel, meet, punt, en modelruis. De uiteindelijke ruisparameters waren:

Component	Standaard deviatie	Tijdsrelatie exponent	Ruimtelijke correlatie lengte
Meetruis	0.76 mm/ $\sqrt{\text{km}}$	-	-
Puntruïis	0.59 mm/jaar <sup>p</sup>	0.89 (p)	-
Modelruis	2.66 mm/jaar <sup>q</sup>	0.63 (q)	1368 m

*Tabel 3: Waardes ruisparameters*

Deze waardes zijn gelijk aan die uit de analyse van de metingen tot 2006.

De toetsing werd gekenmerkt door:

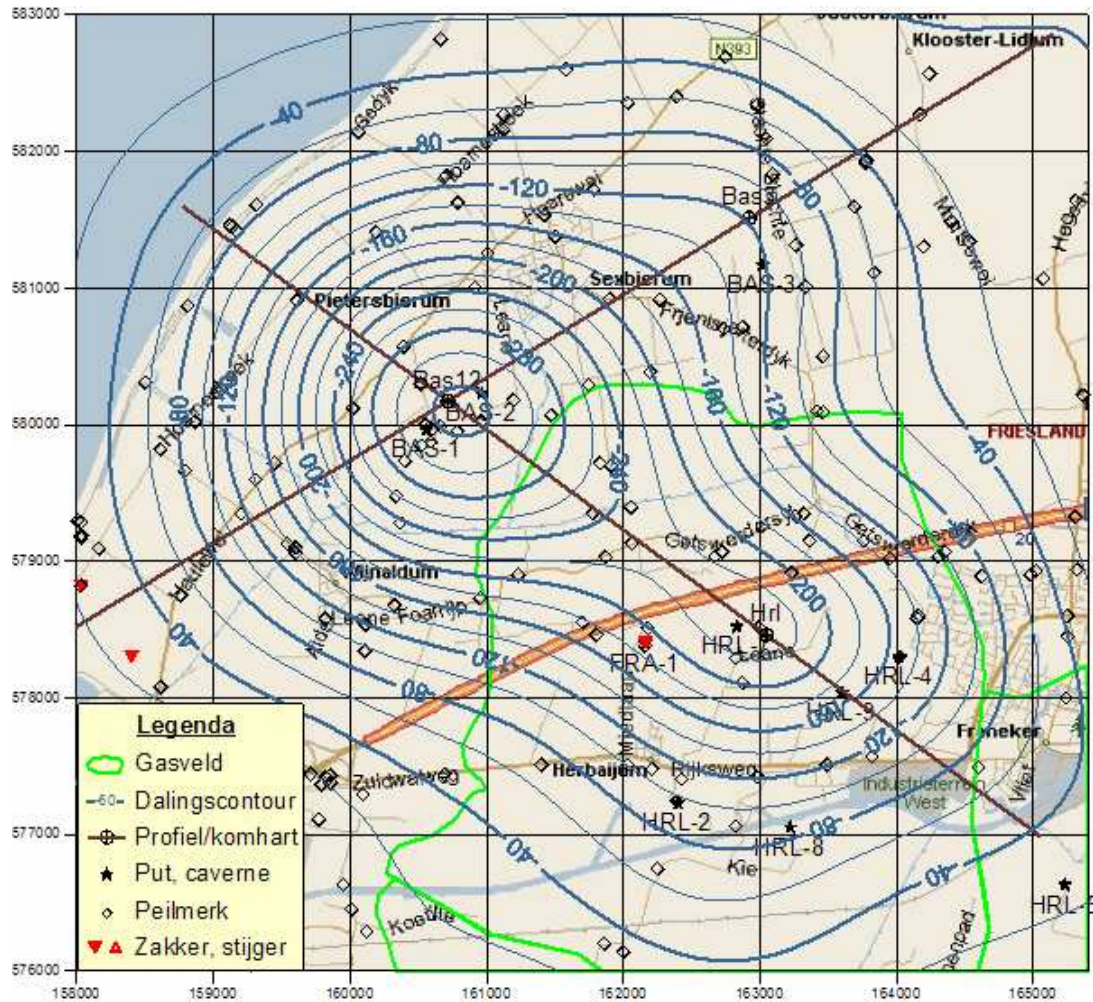
Kenmerk	Aantal	Opmerking
Toetsbare metingen/peilmerken	1832/181	10 herhalingsmetingen per peilmerk
Meetfouten	7 (0.4%)	scherpere controle door herhaling
Onstabile peilmerken	3 (2%)	005D0087, 005D0083, 005G0219
Peilmerkverstoringen	16 (9%)	opgelost door historiesplitsing
Identificatiefouten	21 (1.1%)	opgelost door 'haasje over'

*Tabel 4: Toetskarakteristieken*

In de nieuwe 2007 metingen werden geen onregelmatigheden gedetecteerd.

## Totale bodemdaling

De vereffening resulteert in totale bodemdaling ongeacht oorzaak. Met behulp van kleinste kwadraten voorspelling [1] kan deze bodemdaling worden geïnterpoleerd en in beperkte mate ook geëxtrapoléerd naar elk willekeurig punt op elk willekeurig tijdstip. Figuur 3 brengt deze totaal gemeten bodemdaling over de periode 1988-2007 in beeld in de vorm van een contourkaart. Het contour interval is 20 mm. Peilmerken met een significant afwijkende dalingsnelheid zijn gemarkeerd met een rode driehoek.



Figuur 3: Totaal gemeten bodemdaling over de periode 1988-2007 in mm

De bodemdaling boven het Harlingen gasveld bedraagt ruim 23 cm, die boven de BAS-1/2 zoutcavernes 32.5 cm en die boven de BAS-3 zoutcaverne 12 cm.

Rond het Keningspark in zuidwest Franeker is de bodemdaling inmiddels opgelopen tot 14 cm. Deze daling neemt toe met een snelheid van 17 mm per jaar (Figuur 4).

## Bodemdaling naar oorzaak

### Methodiek

De componenten van de bodemdaling wordt in dit stadium gemodelleerd door standaard bodemdalingpatronen. Het verschil tussen de zo gemodelleerde bodemdaling en de totaal gemeten bodemdaling wordt door successievelijke toevoeging van additionele patronen verkleind totdat de standaard deviatie van het verschil niet meer significant afneemt. In beginsel is elk patroon toelaatbaar, maar komen van het type, gedefinieerd in vergelijking (1), blijken in de praktijk efficiënt tot een nauwkeurige en interpreteerbare oplossing te leiden. De parameters van de standaard patronen worden berekend door simultane kleinste kwadraten aanpassing aan bij de peilmerken gemeten, totale daling.

Het restverschil tussen de zo gemodelleerde en de gemeten bodemdaling is deels veroorzaakt door verschillen tussen de werkelijke en de standaard dalingspatronen per oorzaak en deels door daling tengevolge van kleinere ongemodelleerde oorzaken. De restdaling wordt daarom proportioneel met de absolute waarde van de individueel gemodelleerde componenten en het restsignaal toegekend aan de geïdentificeerde oorzaken en een restsignaal.

Door de specifieke plaats, vorm, grootte en ontwikkeling in de tijd laten deze dominante patronen zich doorgaans eenduidig aan bekende oorzaken koppelen.

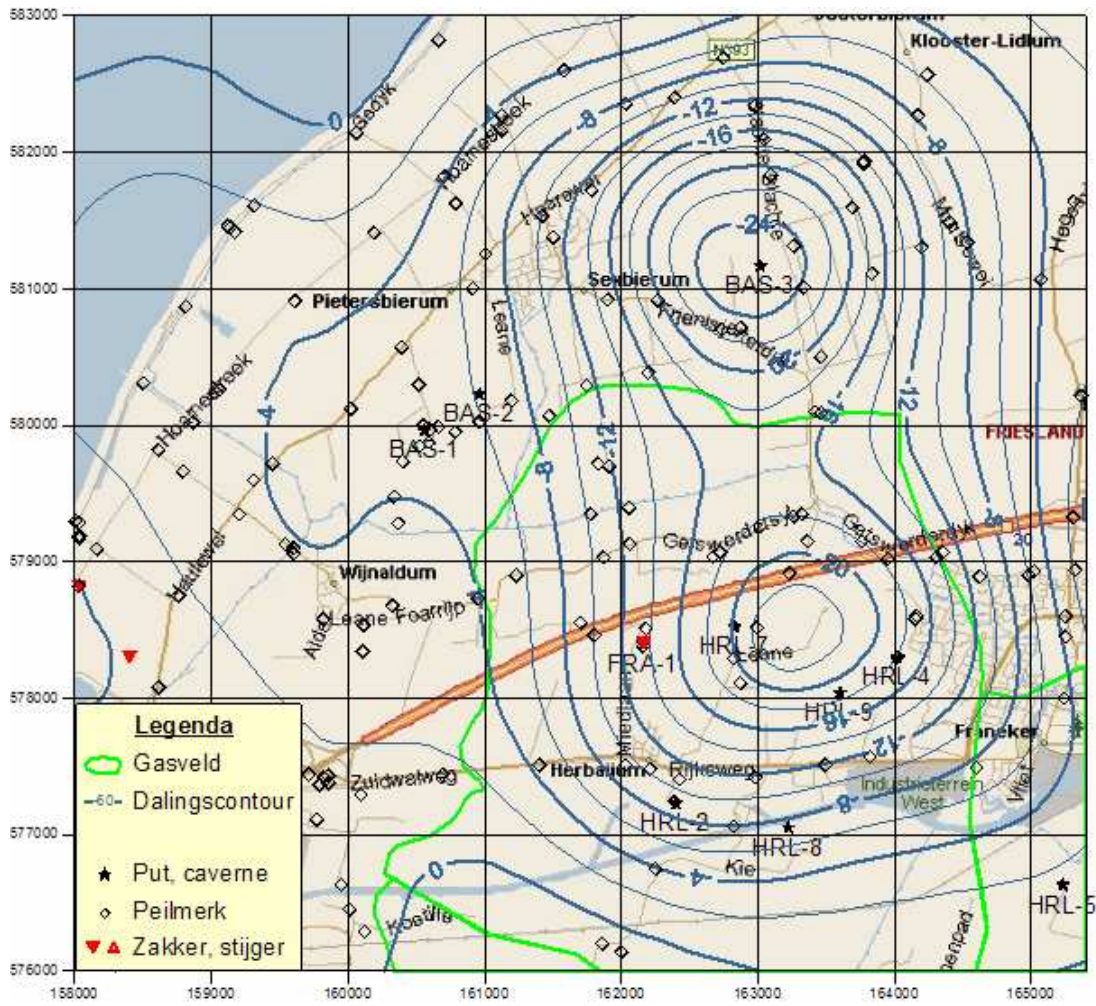
### Oorzakelijke toewijzing

De totaal gemeten bodemdaling over de periode 1988-2007 (Figuur 3) kan met een standaard deviatie van minder dan 5 mm worden beschreven door een model bestaande uit drie kommen van het type van vergelijking 1. De parameters van deze kommen zijn bepaald door kleinste kwadraten aanpassing aan bij de peilmerken gemeten bodemdaling. Plaats, vorm, grootte en ontwikkeling in de tijd van deze drie kommen zijn overduidelijk gerelateerd aan respectievelijk de gaswinning uit het Harlingen veld, zoutwinning uit de BAS-1/2 cavernes en zoutwinning uit de BAS-3 caverne:

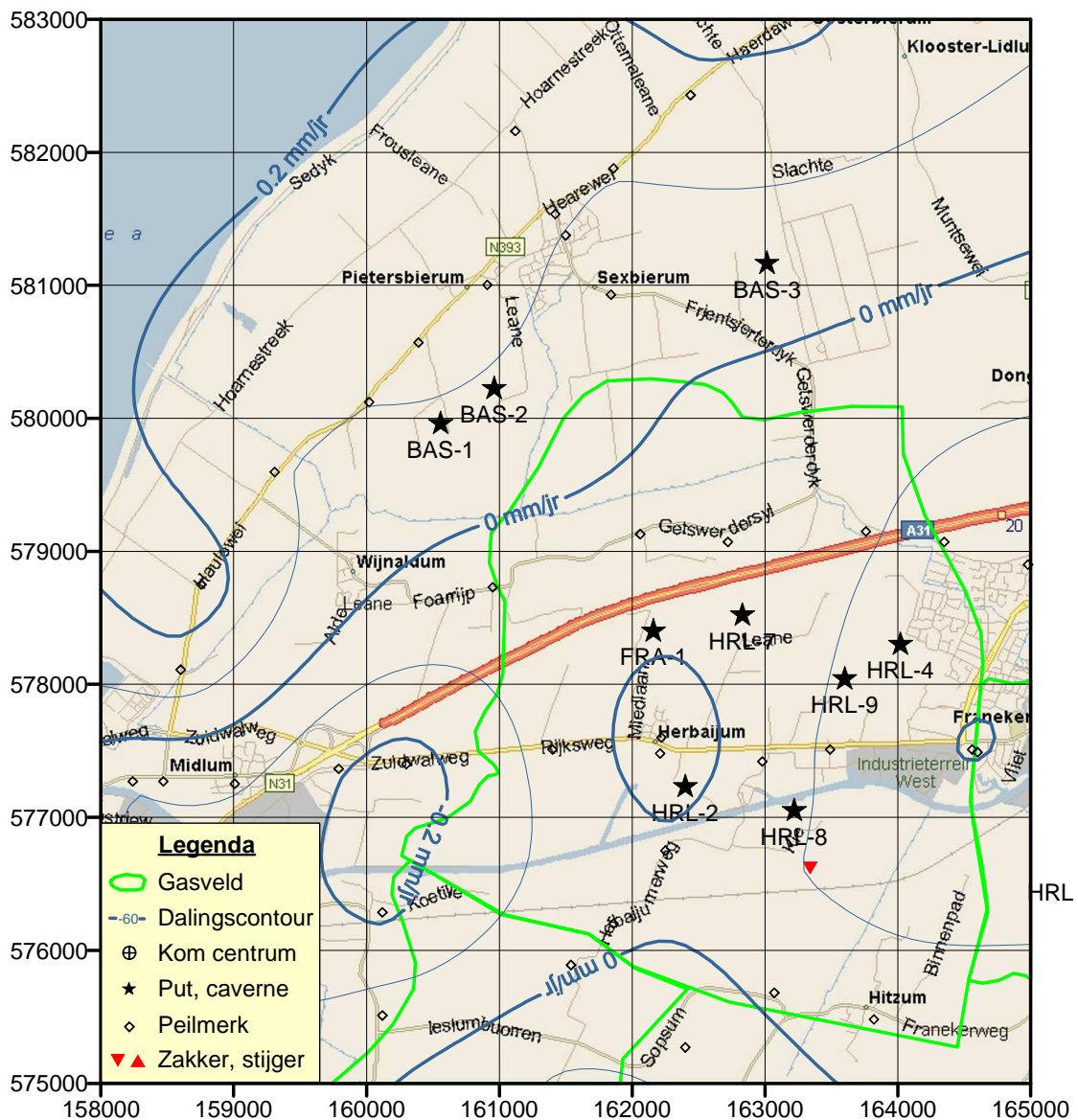
Kom	datum	x mid [m]	y mid [m]	straal max [m]	straal min [m]	alfa [°]	delta	zmax [mm]
HRL	18-09-2007	163045	578460	1130	979	119	1.64	-212.2
BAS-1/2	18-09-2007	160715	580172	1191	1105	61	1.88	-303.1
BAS-3	18-09-2007	162922	581512	706	706	0	1.86	-74.8

Tabel 5: Best passende komparameters voor de periode 1988-2007

Het dwingende karakter van de correlatie tussen plaats (en vorm) van de dominante patronen in de gemeten daling en die van gasveld en zoutcavernes wordt overtuigend geïllustreerd door de kaart van het totale daling over de periode 2006-2007 (Figuur 4). De afwezigheid van significante correlatie tussen de plaats en vorm van patronen in de bodemdalingsnelheid vóór de gaswinning (Figuur 5) en die in de bodemdaling over de periode 2006-2007 (Figuur 4) sluit een significante bijdrage van natuurlijke processen, zoals klink en van menselijke ingrepen, zoals polderpeil aanpassingen voor 1988 uit. Figuur 5 laat een relatieve stijging langs de kust in het noordwesten zien en nauwelijks enige daling van het gebied ten westen van Franeker, waar zich na 1988 de bodemdalingsskom door gaswinning zou ontwikkelen.



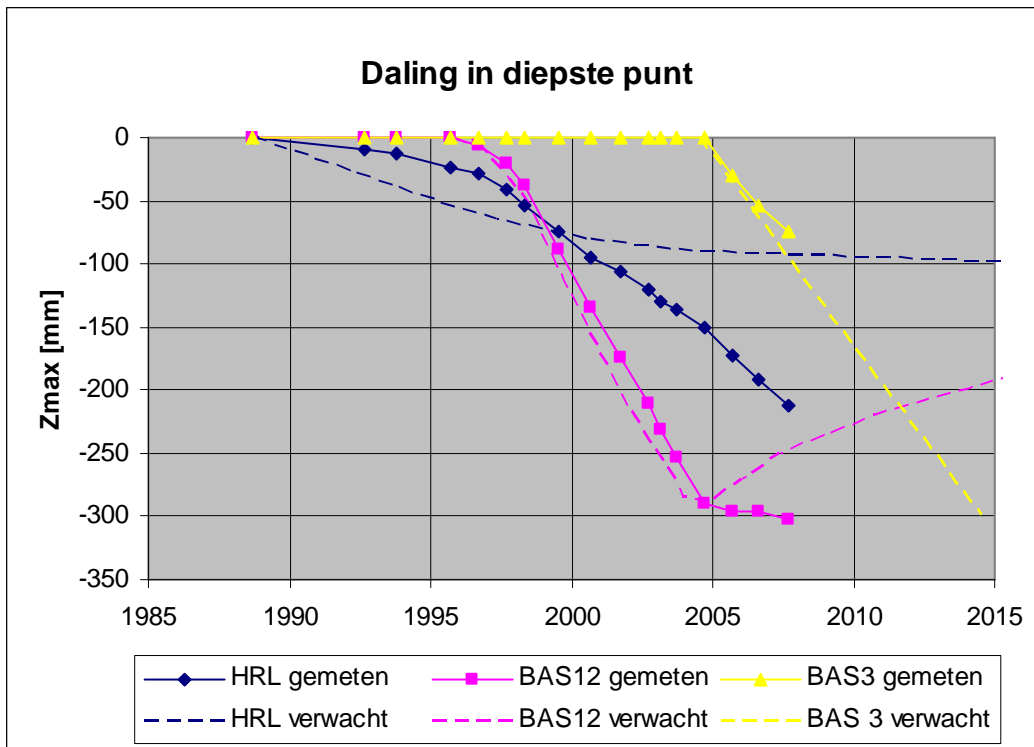
Figuur 4: Bodemdaling 2006-2007 in mm



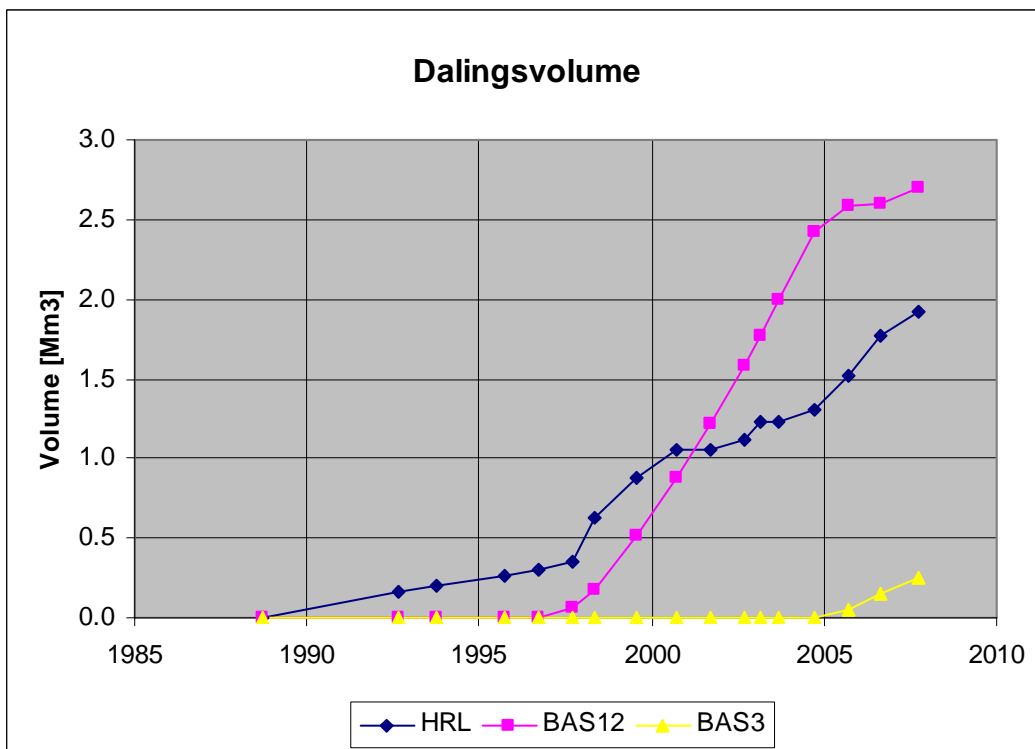
Figuur 5: Relatieve bodemdalingsnelheid voor aanvang van de gaswinning in 1988

Met behulp van driedimensionale kleinste kwadraten voorspelling kan de totaal gemeten bodemdaling op elk gewenst tijdstip worden geïnterpoleerd en geëxtrapoleerd naar elk gewenst punt op elk gewenst tijdstip. Deze op verschillende tijdstippen totaal gemeten bodemdaling is met de hiervoor beschreven toewijzingsprocedure ontleed in bijdragen per oorzaak. Hiermee kan een beeld van de ontwikkeling van de oorzakelijke bodemdaling-componenten in de tijd worden opgebouwd. Figuur 6 toont deze ontwikkeling samen met de verwachting, voor zover deze uit openbare bronnen op te maken is. Figuur 7 toont dezelfde ontwikkeling in termen van komvolume. Figuur 8, ten slotte, geeft de ontwikkeling van de breedte van de diverse kommen weer. In de secties over de bodemdaling specifiek door gas- en zoutwinning zal nader op de betekenis van deze drie grafieken worden ingegaan.

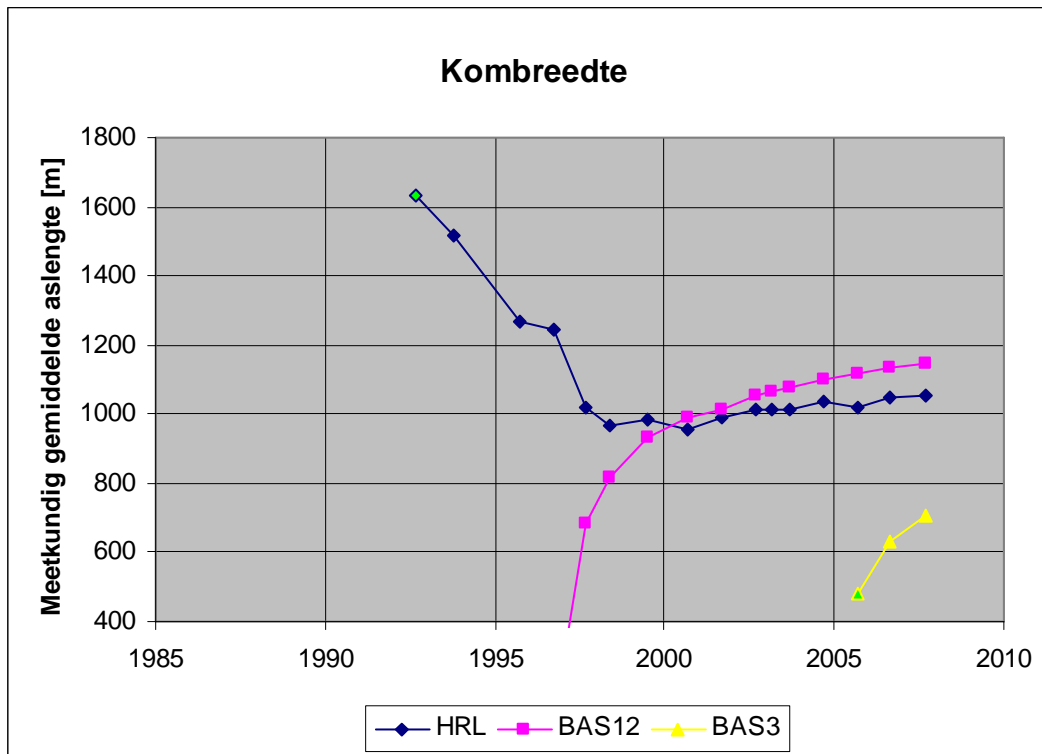
Vergeleken met de 2006 analyse [1] is er her en der sprake van enige herverdeling van de totaal gemeten bodemdaling over de verschillende oorzaken. Deze blijft echter beperkt tot de onzekerheidsmarge van +/- 1.5 cm, die samenhangt met de relatieve in plaats van absolute aard van de oorspronkelijke hoogteverschilmetingen.



Figuur 6: Gemeten en verwachte bodemdaling in het diepste punt per oorzaak



Figuur 7: Dalingsvolume als functie van de tijd.

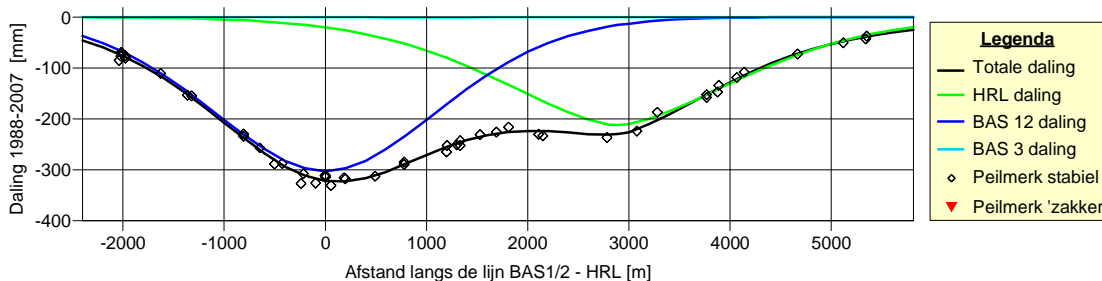


Figuur 8: Komstraal als functie van de tijd.

### Bodemdaling door gaswinning

De bodemdaling door gaswinning sinds 1988 is door middel van blauwe contourlijnen aangegeven op de kaart van Figuur 10. Het contourinterval is 20 mm.

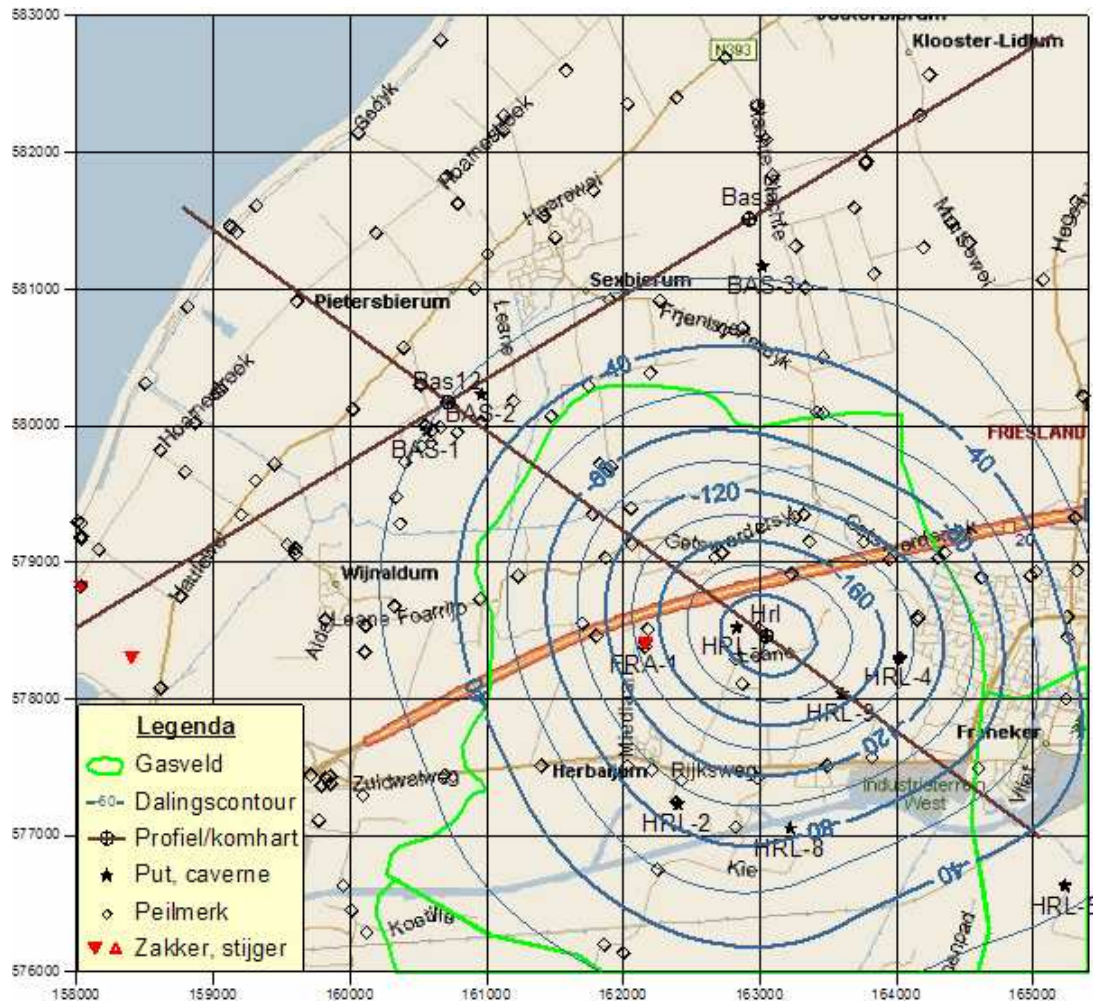
De bodemdaling door gaswinning bereikt een maximum van 21.5 cm pal boven het zwaartepunt van de productie uit het Harlingen veld. Dit is ruim twee maal zoveel als geïmpliceerd in de Vermilion voorspelling na de 2006 meting [1]. De grootte van de dalingskom komt goed overeen met de begrenzing van het dominante noord blok van het gasveld (groene omtrek) en het voorspelde bodemdalingpatroon. De kom is ongebruikelijk scherp trechtervormig. Dit komt goed tot uiting in onderstaand profiel (Figuur 9), waarin langs de lijn door het hart van de BAS1/2 en HRL komen de bijdrages van de afzonderlijke winningen samen met gemeten peilmerkdalingen (zwarte ruitjes) zijn aangegeven:



Figuur 9: 1988-2007 peilmerk- en bodemdaling langs de lijn door het hart van de BAS1/2 en HRL schotels

Een oorzaak van de scherpe trechtervormigheid is mogelijk gelegen in plaatselijk ineenstorting van de poriën van het reservoir kalkgesteente. Onderzoek heeft weliswaar uitgewezen dat de in het laboratorium geteste kalksteen pas bij een veel grotere dan gemeten poriëndrukverlaging instort, maar twijfel over hoe representatief de geteste gesteentemon-

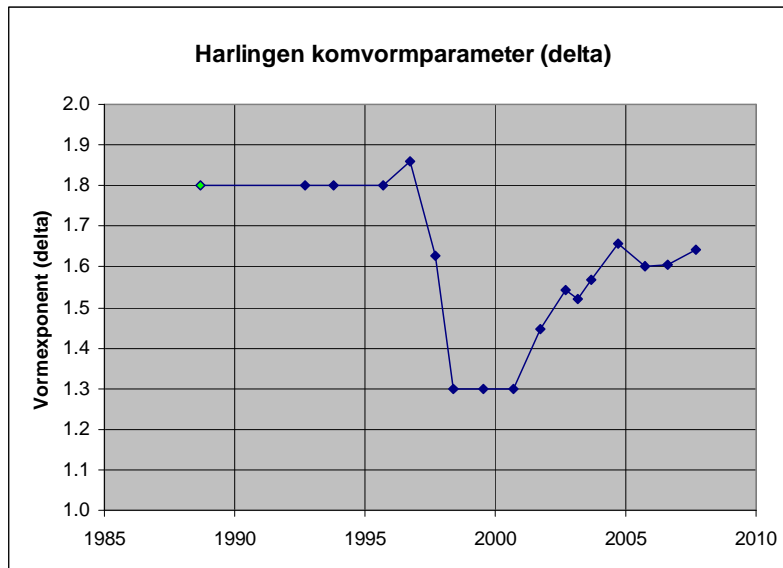
sters en de laboratoriumomstandigheden zijn voor de werkelijke in situ omstandigheden overheerst.



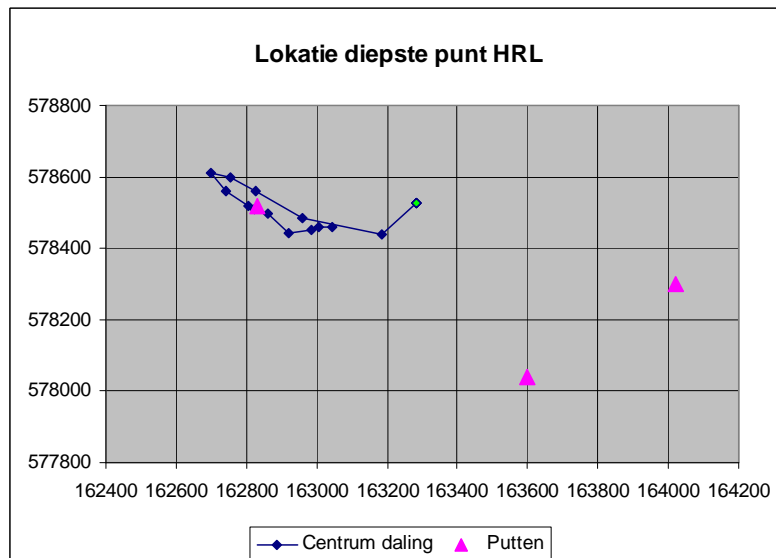
Figuur 10: Bodemdaling 1988-2007 door gaswinning

De vorm (Figuur 11) van de bodemdalingsschotel is aanvankelijk vrij normaal voor gaswinning uit een 4 bij 4 km groot reservoir op 1 km diepte. Tussen eind 1997 en eind 2000 wordt de kom plotseling veel meer trechtervormig, om vanaf 2001 weer langzaam te vervlakken. De breedte van de steeds dieper wordende kom (Figuur 8) neemt af tot eind 1997 en stabiliseert zich daarna rond 1 km. De kom wandelt tot 2000 in westelijke richting en keert daarna terug in oostelijke richting (Figuur 12). Dit gedrag houdt mogelijk verband met een aanvankelijk geleidelijke elastische vervorming van het reservoirgesteente gevolgd door een plotseling bezwijken van de kalkstructuur ('pore collapse') op plaatsen waar het draagvermogen van het deels leeggezogen reservoir wordt overschreden. Gaswinning gaat gepaard met drukverlaging in het reservoir. Als gevolg van de lage doorlaatbaarheid van het reservoirgesteente zal deze drukverlaging zich in dit geval sterk concentreren rond de extractie punten. De komvorm verandering is dan mogelijk te verklaren door zich uitbreidende 'pore collapse' eerst vanuit een enkel extractiepunt, daarna vanuit steeds meer extractiepunten, zodra het draagvermogen bij het betreffende extractiepunt is overschreden.

Gezien de slechte dekking van het meetnetwerk en de geringe bodemdaling vóór 2000 zal de precisie van de berekende komparameters aanvankelijk zeer slecht zijn om pas rond 2000 significant te worden. De zelfde kanttekening moet worden geplaatst bij het terugwandelen van het komcentrum vanaf 2000 (Figuur 12). De onzekerheid in de gesignaleerde komparameterontwikkeling is daardoor aanvankelijk groot.

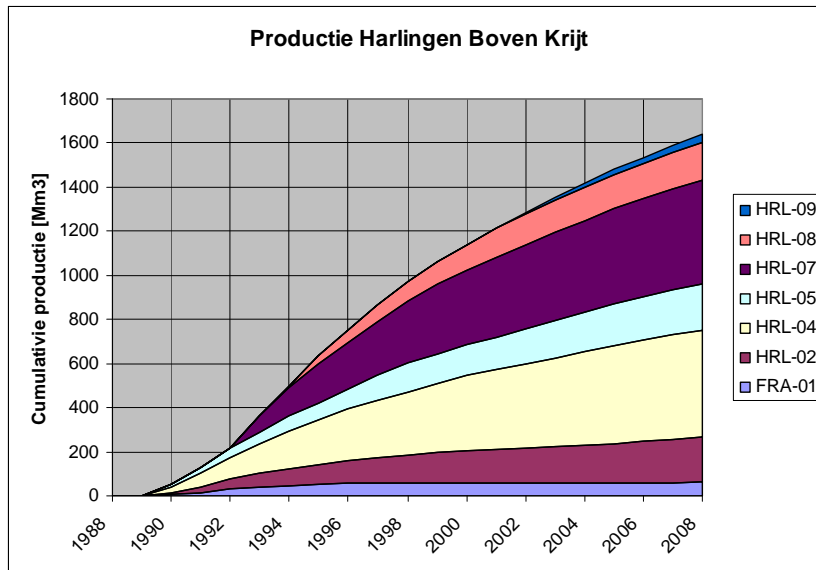


Figuur 11: Ontwikkeling Harlingen komvormparameter in de tijd



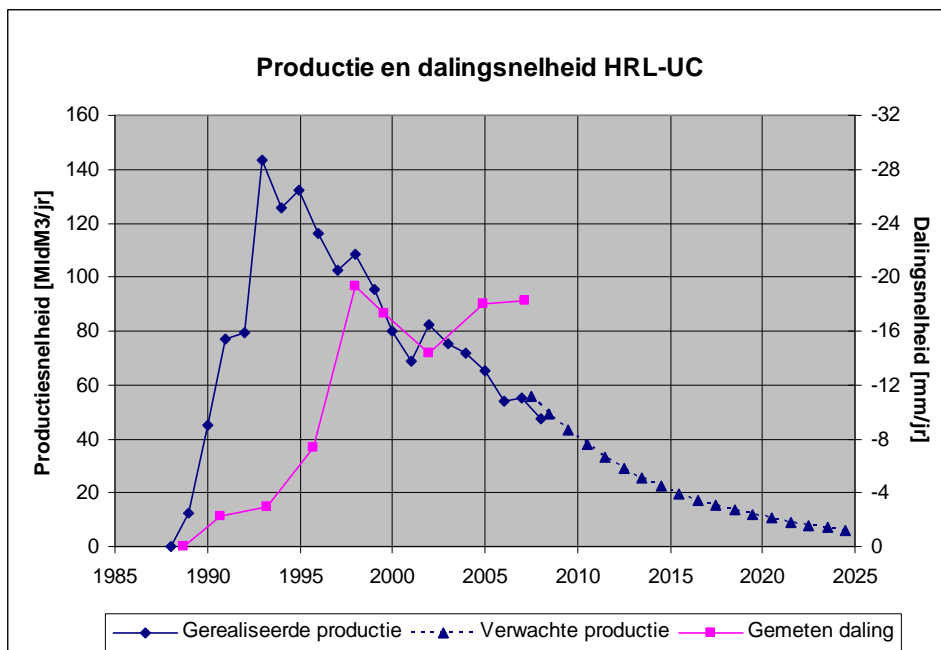
Figuur 12: Wandelende locatie diepste punt Harlingen kom

De plaats van het diepste punt (Figuur 10 en Figuur 4) in 2007, tussen de locaties waar de putten HRL-4 en HRL-7 het reservoir aftappen, is passend bij het aandeel van de verschillende putten in de totale winning (Figuur 13).



Figuur 13: Cumulatieve productie Harlingen (Noord pool)

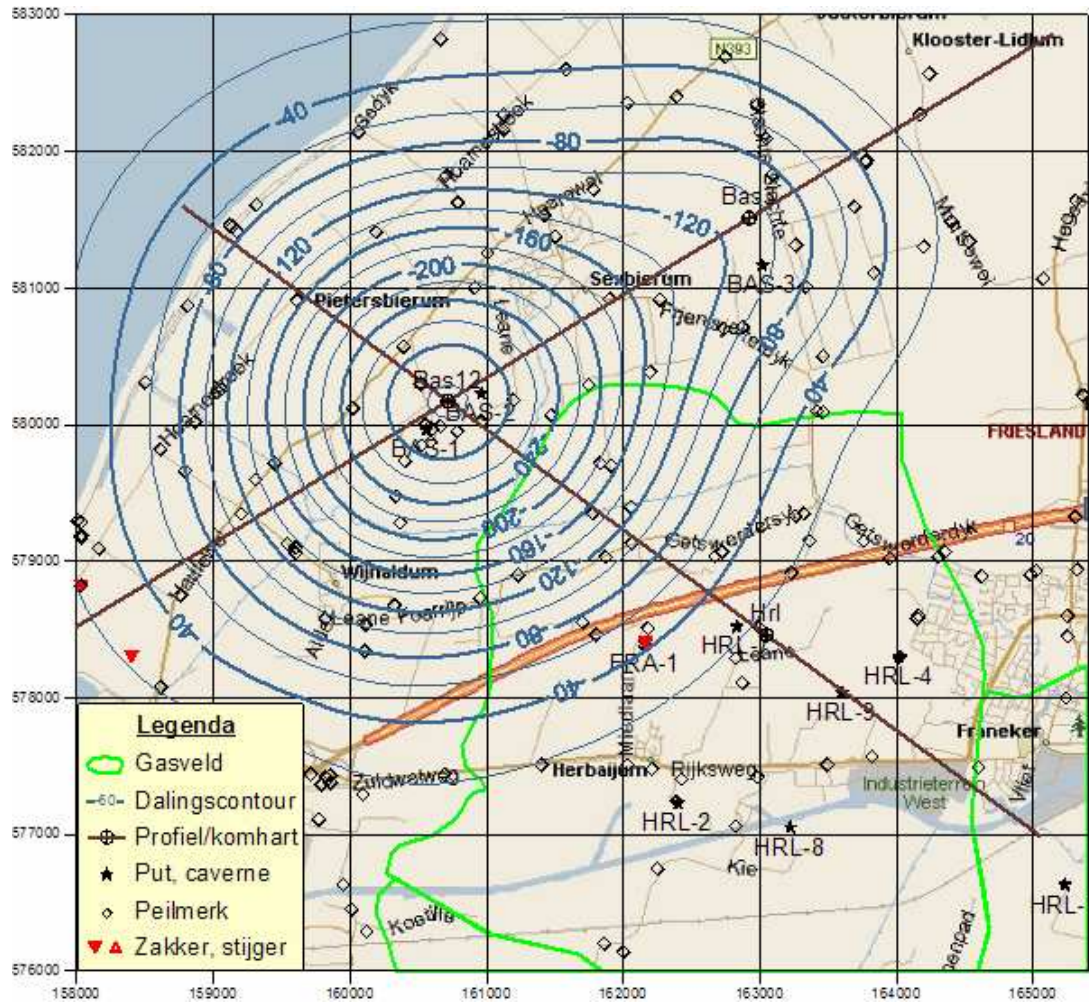
De trend van de bodemdalingsnelheid blijft zogwekkend. Terwijl de productiesnelheid al sinds eind 1992 afneemt, vertoont de bodemdalingsnelheid nog steeds geen tekenen af te nemen (Figuur 14). Dit maakt het voorspellen van dalingsnelheden en het nemen van tijdschade beperkende maatregelen een zeer onzekere aangelegenheid.



Figuur 14: Harlingen Boven-Krijt: Productie- en dalingssnelheid

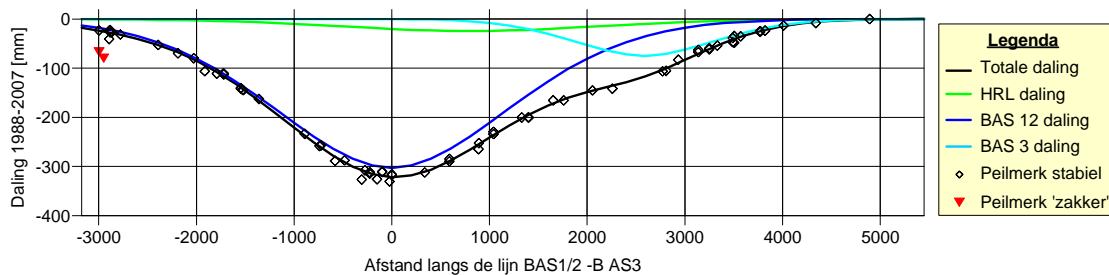
## Bodemdaling door zoutwinning

De bodemdaling door zoutwinning is met blauwe contourlijnen aangegeven op het kaartje van Figuur 15. Zij bedraagt maximaal 30.5 cm boven de BAS-1 en 2 cavernes ten zuiden van Pietersbierum. Boven de BAS-3 caveerne, oost van Sexbierum is 10.5 cm bodemdaling veroorzaakt door zoutwinning uit de BAS-1, 2 en 3 cavernes.



Figuur 15: Bodemdaling 1988-2007 door zoutwinning

De bijdragen van de zoutwinning uit de BAS-1/2 cavernes, de zoutwinning uit de BAS-3 caveerne en de gaswinning uit het Harlingen veld is weergegeven in Figuur 16. De gemeten hoogteverandering van peilmerken binnen 1 km van het profiel zijn aangegeven met zwarte ruitjes. Helemaal links zijn twee, in de toetsing onstabiel bevonden, peilmerken met rode driehoeken gemarkeerd.



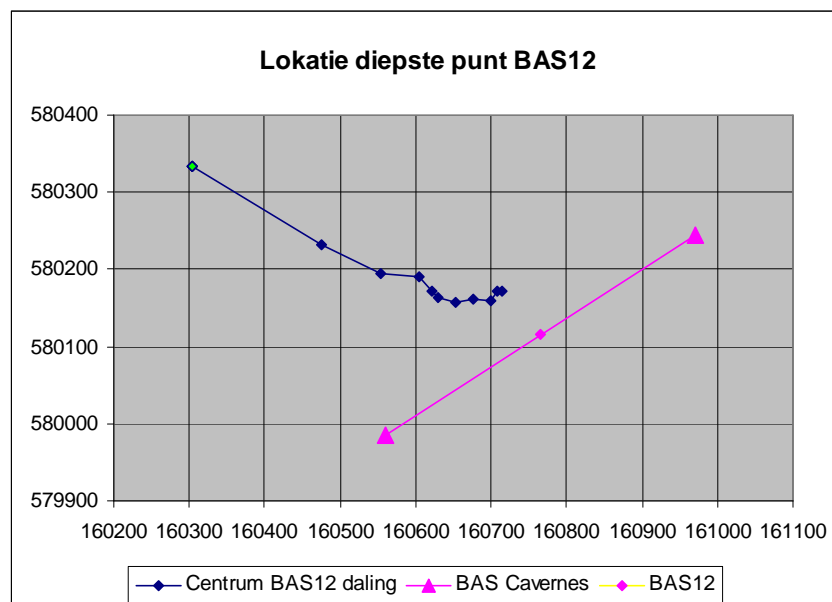
Figuur 16: 1988-2007 peilmerk- en bodemdaling langs de lijn door het hart van de BAS1/2 en BAS3 schotels

De bodemdaling boven de BAS-3 caverne komt voor 7.5 cm op het conto van de zoutwinning uit de BAS-3 caverne zelf en voor 3 cm op dat van de BAS1/2 zoutwinning. De, door zoutwinning uit BAS-3 veroorzaakte, bodemdaling ontwikkelt zich met een snelheid van 2.5 cm per jaar.

De 2007 meting rekt definitief af met de voorspelde 'rebound': terugvering. De metingen weerspreken deze door TNO in 2003 voorspelde terugvering van de bodem door drukvereffening in de zoutlagen na het einde van de productie. Overigens ontwikkelt de bodemdaling door zoutwinning zich conform de Frisia verwachtingen (Figuur 6).

De breedte van de BAS-1/2 dalingschotel neemt geleidelijk toe in de tijd, aanvankelijk snel, later wat langzamer (Figuur 8). De BAS-3 schotel vertoont een dergelijk gedrag. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk gelegen in het gewicht van boven het zout liggende aardlagen, dat zout steeds verder van de caverne mobiliseert en richting de caverne perst.

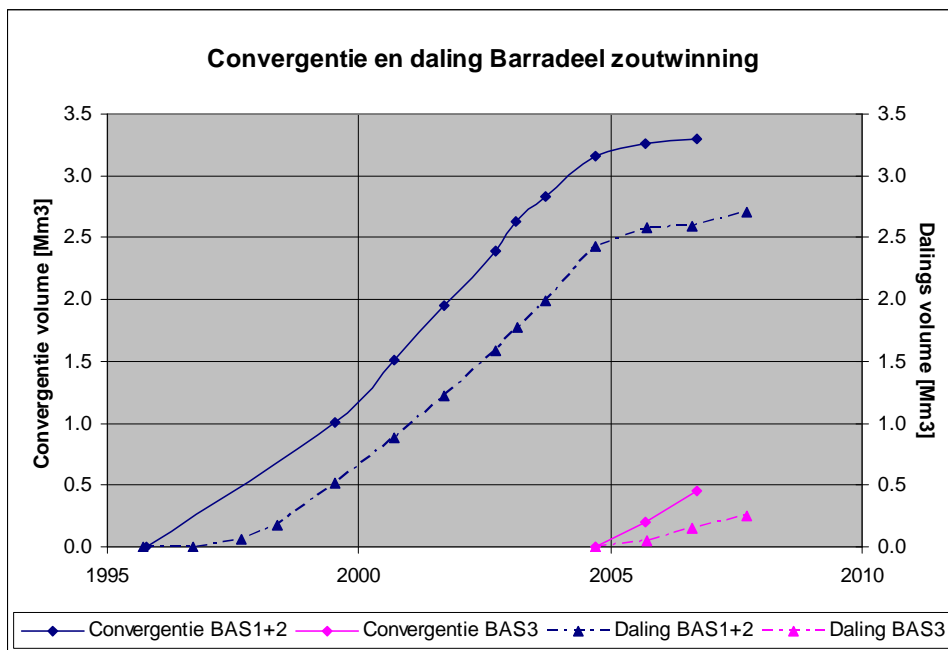
Het centrum van de BAS-1/2 kom is in de loop van de tijd met steeds kleinere stappen naar de huidige locatie opgeschoven (Figuur 17). Het centrum van de BAS-3 schotel lijkt in het afgelopen jaar 150 m naar het oosten verschoven te zijn, maar ligt nog wel 400 m ten noorden van de door Frisia opgegeven caverne locatie. Hierbij moet in ogenschouw worden genomen dat de komlocatie niet nauwkeurig kan worden bepaald zolang de bodemdaling in een groot deel van het komgebied het meet- en puntruisoniveau nog nauwelijks ontstijgt.



Figuur 17: Wandelen diepste punt BAS-1/2 kom

De zoutvloeï die door de druk van de bovenliggende lagen de caverne in wordt gedrukt wordt convergentie genoemd. Convergentie gegevens (Figuur 18) voor 2007 zijn niet bekend gemaakt. Het historisch aan zoutwinning uit de BAS-1/2 cavernes toegerekende dalingsvolume pakt 10% hoger uit dan becijfert op basis van de meetgegevens tot 2006 [1]. Hiermee komt het dalingsvolume nu uit op 82% van het convergentie volume. Aannemende dat het bodemdalingvolume op de lange termijn wordt begrensd door het convergentievolume, kan het dalingsvolume door na-ijleffecten als kruip op langere termijn nog maximaal 22% stijgen.

Het historisch aan zoutwinning uit de BAS-3 cavernes toegerekende dalingsvolume is ongeveer 20% lager dan eerder becijfert op basis van de meetgegevens tot 2006 [1]. Door de relatieve aard van de metingen en de minimale expressie van de daling in termen van kom diepte/breedte verhoudingen kunnen absolute dalingsvolumes per oorzaak rond de BAS-3 caverne nog niet nauwkeurig worden vastgesteld.



Figuur 18: Convergentie en dalingsvolumes Barradeel zoutwinning

### Open, eerlijke beeldvorming

De bepaling van bodemdaling door gas- en zoutwinning is een zeer specialistische aangelegenheid. Relevante kennis is sterk geconcentreerd bij partijen die een belang hebben bij voortzetting van de winning. Ook lokale overheden en burgers die mogelijk schade van de bodemdaling ondervinden zijn voor informatie aangewezen op mijnbouwondernemingen en de rijksoverheid die de vruchten van de delfstofwinning plukken. Objectiviteit en transparantie in de afleiding van veroorzaakte bodemdaling uit de wettelijk verplichte metingen is daarom van uitzonderlijk belang.

Deformatiemetingen, waaronder waterpasmetingen, GPS en radar satellietbeelden, zijn relatief van aard. Daardoor kan de oppervlaktevervorming (relatieve beweging) heel precies worden gemeten, maar de absolute mate van beweging in het geheel niet. Dit feit wordt in het merendeel van de afleidingen van bodemdaling uit geodetische metingen door geomechanici veronachtzaamd. Waar bodemdaling uit een combinatie van geomechanische parameters en geodetische metingen wordt afgeleid, krijgt vorminformatie uit laatst genoemde bron daardoor ongemerkt veel te weinig gewicht vergeleken met vorminformatie uit het geomechanische model. Bepaling van bodemdaling zonder acht te slaan op het relatieve karakter van de geodetische metingen ontwaarden dan ook onveranderlijk in ten onrechte zelfbevestigende geomechanische modellen. Recente bepalingen onder regie van SodM vormen daarop geen uitzondering.

De in dit rapport afgeleide bodemdaling door gas en zoutwinning ligt in het verlengde van de patronen die uit de analyse van alle metingen tot 2006 naar voren kwamen. Deze patronen sluiten nauwkeurig aan op het verloop van de metingen in ruimte en tijd. Het aldus zuiver gemeten patroon van bodemdaling door gaswinning verschilt drastisch van het model, dat onder regie van het Staatstoezicht op de Mijnen door Vermilion [1] is afgeleid. Waar de afleiding via integrale geometrische analyse van de relevante waterpasmetingen tot in detail publiekelijk verifieerbaar is, is de Vermilion modellering door verre gaande censuur aan open verificatie onttrokken. In het naar aanleiding van een WOB-verzoek op [www.nlog.nl](http://www.nlog.nl) [9] gepubliceerd rapport zijn 35 pagina's weggelakt. In het bijzonder de essentiële technische en methodische details van de vaststelling van de bodemdaling door gaswinning zijn onzichtbaar gemaakt. Hiermee is ook de aansprakelijkheid voor schade door gaswinning niet meer onafhankelijk verifieerbaar.

Wel is duidelijk dat het door Vermilion/SodM vastgestelde model niet zonder enkele kunstgrepen met de metingen in het reine gebracht kon worden.

Door selectief gebruik van de metingen zijn discrepanties op niet gebruikte meetpunten en tijdstippen buiten beeld gebleven. Het onstabiel verklaren van peilmerken, die wel in het algemene ruimtelijk patroon, maar niet in het vooronderstelde geomechanische model passen, is hier onderdeel van. Peilmerken zijn instabiel als de belasting de draagkracht van de grond op funderingsniveau overtreft.

Dit is bij het door Vermilion/SodM verworpen ondergrondse merk 000A2754 nadrukkelijk niet het geval. De draagkracht op fundatieniveau is gelijk aan die van de geaccepteerde ondergrondse merken en de belasting een aantal ordes van grootte kleiner dan de draagkracht.

Als de ondergrond bezwijkt, zal een peilmerk zetten totdat belasting en draagvermogen (weer) in evenwicht zijn. De snelheid van deze aanpassing neemt logaritmisch af in de tijd. De dalingssnelheid van de verworpen peilmerken 3004 en 3005 neemt daarentegen net als die van omliggende geaccepteerde peilmerken toe in tijd. Het peilmerk 3005 zit in een 150 jaar oude boerderij. Aangenomen mag worden dat belasting en draagvermogen inmiddels in evenwicht zijn.

Het verworpen peilmerk 3004 zit in een schuur, gefundeerd op betonplaat. De bij louter visuele veldinspectie kenbare funderingskarakteristieken zijn niet aanwijsbaar slechter dan die van het merendeel van de wel geaccepteerde peilmerken. Noch de geotechnische bedrijven, die deze door SodM als onbetrouwbaar beoordeelde peilmerken plaatsten, noch

beroepsmatige gebruikers daarvan, hebben deze peilmerken als onbetrouwbaar geïnclassificeerd.

Het selectieve gebruik van meetgegevens neemt blijkens de 2007 meetrapporten [6, 8] nog een opmerkelijke wending. Deze Oranjewoud rapporten vermelden dat een aantal peilmerken in opdracht van SodM als ‘ondoelmatig’ is aangemerkt en in 2007 niet meer is aangemeten. Meetkosten zijn nagenoeg proportioneel met het aantal trajectkilometers, niet met het aantal meetpunten. Eliminatie van ‘ondoelmatige’ meetpunten kan dan ook slecht tot verdenking van manipulatie en niet tot kostenbesparing leiden. Kennelijk heeft Oranjewoud het eigen professioneel ethische oordeel laten prevaleren boven de SodM opdracht: in de door Rijkswaterstaat ontvangen dataset voor 2007 ontbreken de metingen naar de ‘ondoelmatige’ peilmerken niet. De metingen en hoogtes voor deze peilmerken zijn zonder voorbehoud in de HIS database van Rijkswaterstaat [8] opgenomen.

De tweede kunstgreep betreft het beroep op ‘autonome daling’. Om de verschillen tussen de metingen en het vooronderstelde model te kunnen verklaren was in de Vermilion/SodM afleiding een beroep nodig op een ongekennde mate van autonome daling. Deze daling is noch nader naar oorzaak of mate gespecificeerd, noch aannemelijk gemaakt.

### **Productielimiet gaswinning**

Tussen gaswinner Vermilion en de verschillende overheden is een limiet van 13 cm met een marge van 20% afgesproken voor bodemdaling ten gevolge van gaswinning vanaf 1988. Door het ontbreken van een dwingend protocol voor de vaststelling van bodemdaling door gaswinning kan Vermilion elke mate van bodemdaling, die niet in haar voorondersteld model van bodemdaling door gaswinning past, simpelweg op het conto van autonome daling schrijven en daarmee een productiestop ontlopen.

De zuiver gemeten bodemdaling door gaswinning bedraagt inmiddels al 23 cm. Hierdoor kan de afspraak nog slechts tot gecompliceerde juridische twisten over aansprakelijkheid leiden tussen de gaswinner Vermilion, de toezichthouder SodM en lokale overheden.

Hier komt nog bij dat de onzekerheidsmarge van 20% totaal onrealistisch is. De bodemdaling door gaswinning is ruwweg proportioneel met de samendrukbaarheid en dikte van het reservoirgesteente. Voor de beide parameters zijn in de NGI studie [4] meer dan 100% verschillende waardes de revue gepasseerd. De totale marge wordt bepaald door de onzekerheden in tal van parameters plus de onzekerheid in de toepasbaarheid van het gekozen model zelf. De marge is in elk geval niet kleiner dan de grootste van alle individuele onzekerheden, in dit geval ruim 100%.

### **Schadebeperkende maatregelen**

Voor maatregelen ter beperking van schade door bodemdaling is de totale bodemdaling van belang. Afzonderlijke oorzaken spelen daarbij alleen een rol voor zover zij een verschil maken in de verwachte mate en duur van de daling. De oorzakelijke toewijzing is vooral van belang voor de aansprakelijk voor eventuele schade.

Beheersmaatregelen van het Wetterskip Fryslân gaan uit van maximaal 20 cm bodemdaling boven het Harlingen gasveld ten westen van Franeker. De bodemdaling heeft deze grens inmiddels ruim overschreden en dendert door met een snelheid van 2.3 cm per jaar. Om onaanvaardbare schade te voorkomen zullen of de oorzaken van bodemdaling moeten worden weggenomen of de schade beperkende maatregelen moeten worden opgeschaald. Zo lang de oorzaak van de onverwacht snelle bodemdaling bij Franeker wordt miskend als ‘autonome daling’ kan de oorzaak zelf niet worden aangepakt. Omdat het mechanisme achter de vermeende ‘autonome daling’ niet nader is bepaald, blijven duur en toekomstige schaal onbekend. Dit maakt het tijdig nemen van de juiste schadebeperkende maatregelen op de juiste schaal nagenoeg onmogelijk.

In het kader van de bodemdaling door gaswinning in Groningen werd een 5% toename van de kans op scheurvorming toelaatbaar geacht. Hannink [2] leidt af dat daarvoor op kleigronden de polderpeilaanpassing de bodemdaling binnen een marge van 20 cm moet volgen. Verruit [3] toont aan dat ook gelijkmatige bodemdaling de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld zodanig kan veranderen dat het draagvermogen van de grond

significant afneemt. De grond onder funderingen waarvan de belasting maar net onder het draagvermogen van de grond vóór bodemdaling bleef, zal door het verlaagde draagvermogen bezwijken. De bodemdaling rond de BAS-1/2 cavernes en boven het Harlingen gasveld bij Franeker bedraagt inmiddels meer dan 20 cm. Volgens het Wetterskip Fryslân zijn er sinds het begin van de bodemdaling geen polderpeilaanpassingen geweest en zijn er ook geen gepland. Doordat het polderpeil de bodemdaling niet heeft gevolgd, zal de kans op scheurvorming zijn vergroot. In het bijzonder op plaatsen waar de bodemdaling meer dan 20 cm bedraagt, moet serieus rekening worden gehouden met scheurvorming als indirect gevolg van bodemdaling. Dit betreft momenteel het gebied binnen een straal van 1.5 km rond de BAS-1/2 cavernes en een snel groeiend gebied rond het centrum van het Harlingen gasveld op de west rand van Franeker. Naar verwachting moet het gebied rond de BAS-3 caverne daar binnenkort aan worden toegevoegd.

Overigens moet worden opgemerkt dat bodemdaling – door gaswinning of anderszins – linksom of rechtsom altijd schade oplevert. Polderpeilverlaging, die gelijke tred houdt met de bodemdaling, kan schade door scheurvorming en frequent blank staande percelen beperken, maar versterkt verzilting. Een onveranderd polderpeil voorkomt verzilting, maar versterkt de kans op scheurvorming en blank staande percelen.

## Conclusies

1. De totaal sinds 1988 gemeten bodemdaling bedraagt 23 cm boven het Vermilion gasveld ten westen van Franeker, 32.5 cm bij de zoutwinninglocatie van Frisia ten zuidwesten van Sexbierum en 12 cm boven de Bas-3 zoutcaverne van Frisia ten oosten van Sexbierum. De bodemdaling aan de west rand van Franeker bedraagt 14 cm en neemt toe met een snelheid van 17 mm per jaar.
2. Gaswinning heeft 21.5 cm bodemdaling veroorzaakt boven het centrum van het Harlingen gasveld ten westen van Franeker. De relatie tussen de snelheid van gaswinning en die van bodemdaling blijft zorgwekkend. Terwijl de productiesnelheid halveerde, vervijfvoudigde de dalingssnelheid zich tot 2.3 cm in het jaar voor de laatste meting.
3. Zoutwinning heeft boven de Bas-1 en Bas-2 cavernes, ten zuidwesten van Sexbierum 30.5 cm bodemdaling veroorzaakt en boven de Bas-3 caverne, oost van Sexbierum, 10.5 cm. De Bas-1/2 bodemdalingsschotel verdiept zich nauwelijks meer, maar wordt nog wel steeds breder. Van het door TNO in 2003 voorspelde terugveren van de bodem tot een uiteindelijke netto daling van 10 cm is nog altijd niets gebleken. Wel lijkt er sprake van enig na-ijlen van de bodemdaling.
4. Locatie, vorm, reikwijdte en verloop in de tijd van de zuiver gemeten dalingspatronen sluiten een significante bijdrage van natuurlijke processen en van menselijk ingrijpen anders dan gas- en zoutwinning uit.
5. Ten zuiden van Pietersbierum en ten westen van Franeker is de bodem inmiddels zo ver gedaald, dat bij het ongewijzigde polderpeil de kans op scheurvorming in de bebouwing naar de maatstaven van Hannink [2] en Verruit [3] significant zal zijn toegenomen.
6. De beheersmaatregelen van het Wetterskip Fryslân gaan uit van maximaal 20 cm bodemdaling boven het gasveld. De gemeten daling heeft deze grens inmiddels ruim overschreden en zet door met een snelheid van 2.3 cm per jaar. Om onaanvaardbare schade te voorkomen is hernieuwde afstemming van beheersmaatregelen noodzakelijk.
7. De afwijzing van een verzoek aan SodM om de manier waarop de bodemdaling door gaswinning uit het Harlingen veld is vastgesteld vrij te geven, voedt de scepsis ten aanzien van de objectiviteit en transparantie, waarmee de overheid aansprakelijkheid voor schade door delfstofwinning afhandelt.
8. Het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heeft de opdracht zeker te stellen dat delfstofwinning op een maatschappelijk verantwoorde wijze wordt uitgevoerd. Ondanks stevige kritiek op de deskundigheid en onpartijdigheid, waarmee SodM de bodemdaling door delfstofwinning vast stelt, is een inhoudelijk wetenschappelijk debat tot dus verre uitgebleven.

## Referenties

1. Weikko A. Heiskanen and Helmut Moritz, december 1966.  
*Physical Geodesy, Equation 7-63.*  
Library of Congress Catalogue Card Number: 66-24950.
2. Ir. G. Hannink, november 1990.  
*Bodemdaling door polderpeilverlagingen en de gevolgen voor verbouwing*  
Symposium Bodemdaling in Nederland,  
TU Delft, Faculteit der Mijnbouwkunde en Petroleumwinning
3. Prof.dr.ir. A. Verruijt, januari 2000.  
*Schade bij gelijkmatige bodemdaling*  
Tijdschrift Geotechniek, januari 2000, p. 15-18
4. Norwegian Geotechnical Institute, 22 maart 2007  
*Uniaxial Compaction Coefficient of Chalk*  
*Compressibility of Harlingen Chalk*  
in opdracht van Vermilion Oil & Gas BV
5. Vermilion Oil & Gas Netherlands BV, May 2007, Addendum September 2007.  
*Subsidence Study – Harlingen Upper Cretaceous (Chalk) Reservoir*  
In zwaar gecensureerde vorm gepubliceerd op [www.nlog.nl](http://www.nlog.nl)
6. A.P.E.M. Houtenbos, 16 januari 2008  
*Bodemdalinganalyse NW-Friesland 1982-2006*
7. Oranjewoud, februari 2008.  
*Meetregister bij het meetplan Barradeel en Barradeel II*  
*Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing Barradeel en Barradeel II 2007*  
in opdracht van Frisia Zout B.V.
8. Oranjewoud, 5 februari 2008.  
*Meetregister bij het meetplan Leeuwarden West*  
*Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2007*  
in opdracht van Vermilion Oil & Gas Netherlands B.V.
9. Ministerie van Economische Zaken  
*NL Olie en Gasportaal.*  
[www.nlog.nl](http://www.nlog.nl)
10. Data-ICT-Dienst Rijkswaterstaat.  
*NAPInfo*  
<http://www.rdnapi.nl/napinfo/naplogin.php>

•  
•  
•  
•  
•  
•  
•  
•  
•  
•



• • • • • • • • • •

