

# BODEMDALING TIETJERK-DRACHTEN 1970-2008



05-09-  
2011

## Precisie en betrouwbaarheid uit metingen

De bodemdaling in het gebied varieert van nul rond Veenwouden tot maximaal 17 cm onder het Bergumermeer.

Ondanks decimering van de gaswinning zet de bodemdaling tussen Tietjerk en Drachten oncontroleerbaar sterk door.

Gaswinning met 'de hand aan de kraan' werkt niet.



## SAMENVATTING

Hoe is het gesteld met de bodemdaling rond Tietjerk en Drachten? Dit rapport concludeert dat de daling door gaswinning veel ernstiger is dan verwacht en zich inmiddels oncontroleerbaar doorzet.

De bodemdaling in het gebied varieert van nul rond Veenwouden tot 17 cm onder het Bergumermeer. Bij Bergum was de daling 15 cm en bij Rottevalle en Drachtstercompagnie 6 cm. De bodemdalingen hebben samen een volume van 13,3 miljoen kubieke meter en vormen daarmee een serieuze bedreiging voor de waterhuishouding.

Het patroon van de daling is onmiskenbaar verbonden met de gaswinning van NAM en Vermilion. Er zijn geen aanwijzingen dat andere oorzaken dan gaswinning aan de gemeten daling hebben bijgedragen.

De voorspellingen, die NAM en Vermilion in 2003 uitbrachten, hebben de bodemdaling tot 2008 ernstig onderschat. Bij Bergum daalde de bodem 7,5 cm meer dan voorspeld. De onbetrouwbaarheid van deze voorspellingen vormen een ernstige bedreiging voor de doelmatigheid van schadepreventiemaatregelen. Fundamenteel onderzoek naar de relatie tussen gaswinning en bodembeweging in de tijd zou hier verandering in moeten brengen.

De productiesnelheid is nog maar een fractie van wat het was. Desondanks raast de bodemdaling met onverminderde snelheid door. De bodemdaling boven het Suawoudeveld bij Bergum lijkt zelfs helemaal op drift geraakt. Het dalingsgedrag vertoont veel gelijkenis met dat boven het Harlingenveld bij Franeker. De productie uit dat veld moest in 2008 wegens oncontroleerbare daling worden gestaakt en daalt desondanks tot de dag van vandaag gestaag door.

De veronderstelling dat eenmaal in gang gezette bodemdaling 'met de hand aan de kraan' tot de orde geroepen kan worden, is in dit en soortgelijke onderzoeken onjuist gebleken. Daartegenover staan geen gepubliceerde gevallen, waarin de bodemdaling wel significant en direct op matiging van de productiesnelheid reageerde. Controle van bodemdaling, zoals die onder het Wad, door productie 'met de hand aan de kraan' is een illusie.

De mate waarin mijnbouwer, waterschap en ingelanden opdraaien voor schade wordt bepaald aan de hand van, exclusief door de mijnbouwer aangeleverde, bodemdalingcijfers. Deze cijfers worden nog altijd onvoldoende professioneel en betrouwbaar berekend.

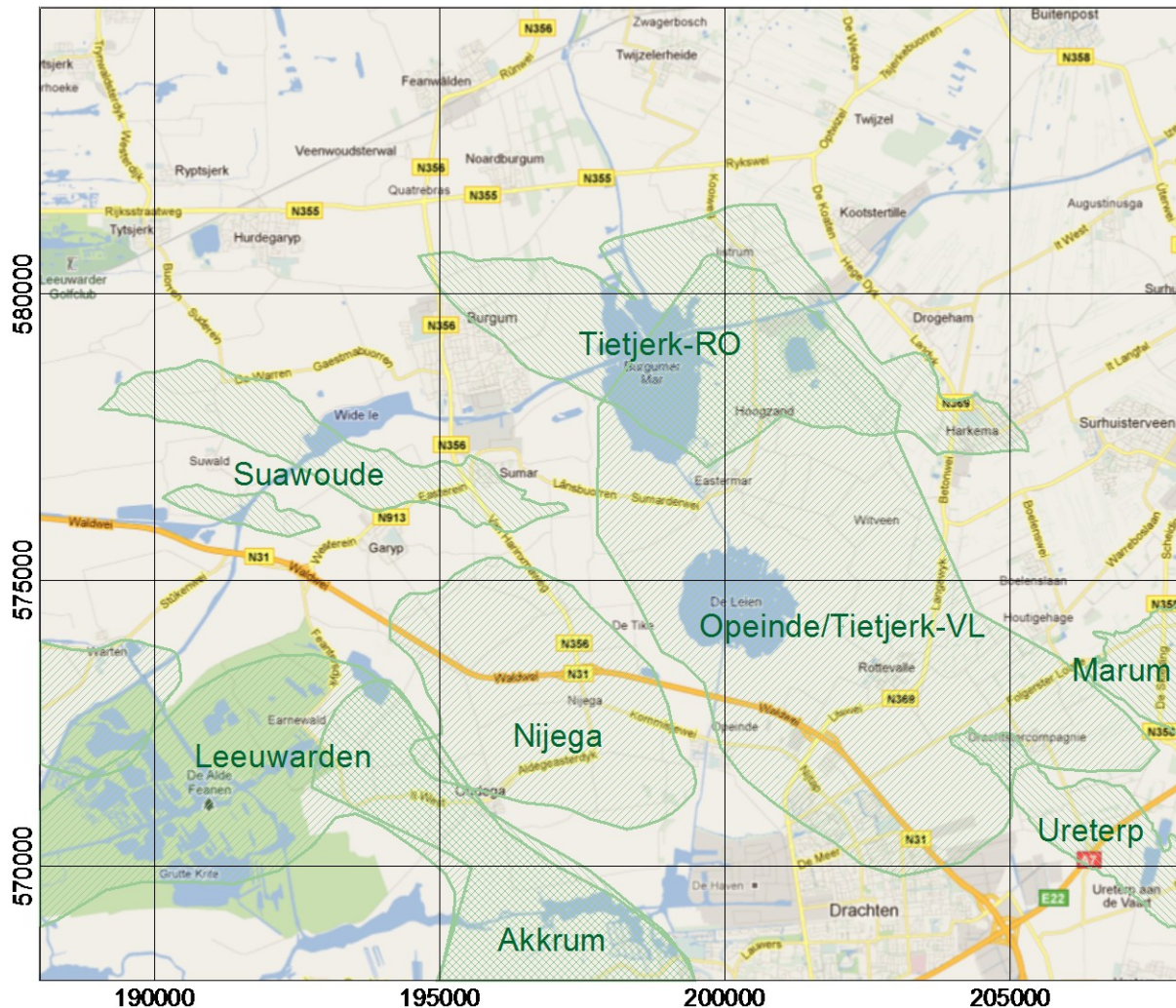
## INHOUD

|  |           |
|--|-----------|
| <b>SAMENVATTING .....</b>                  | <b>1</b>  |
| <b>INLEIDING .....</b>                     | <b>3</b>  |
| <b>METINGEN.....</b>                       | <b>4</b>  |
| Bemonstering in ruimte en tijd.....        | 4         |
| <b>TOTALE BODEMDALING .....</b>            | <b>5</b>  |
| Metingen .....                             | 5         |
| Rekenmethode .....                         | 6         |
| Benaderingsmodel bodemdaling .....         | 6         |
| Ruis.....                                  | 6         |
| Toetsing.....                              | 6         |
| Peilmerkzetting .....                      | 7         |
| Bodembeweging .....                        | 8         |
| <b>GEOMETRISCHE ONTRAFELING .....</b>      | <b>9</b>  |
| In ruimte en tijd .....                    | 9         |
| En profiel.....                            | 12        |
| Voorspelde versus gemeten daling.....      | 12        |
| Van gaswinning naar bodemdaling .....      | 14        |
| <b>VERBETERINGSTRAJECTEN .....</b>         | <b>16</b> |
| Inleiding .....                            | 16        |
| Rekenmethodiek .....                       | 17        |
| Berekening uit gegeven (NAP-)hoogtes ..... | 17        |
| Berekening uit epoche vereffeningen .....  | 18        |
| Integrale 3D analyse.....                  | 19        |
| <b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>GECITEERDE WERKEN .....</b>             | <b>21</b> |

# Bodemdaling Tietjerk-Drachten 1970-2008

## INLEIDING

In het gebied rond Tietjerk en Drachten wordt sinds 1971 gas gewonnen.



FIGUUR 1: GASVELDEN GROEN GEARCEERD

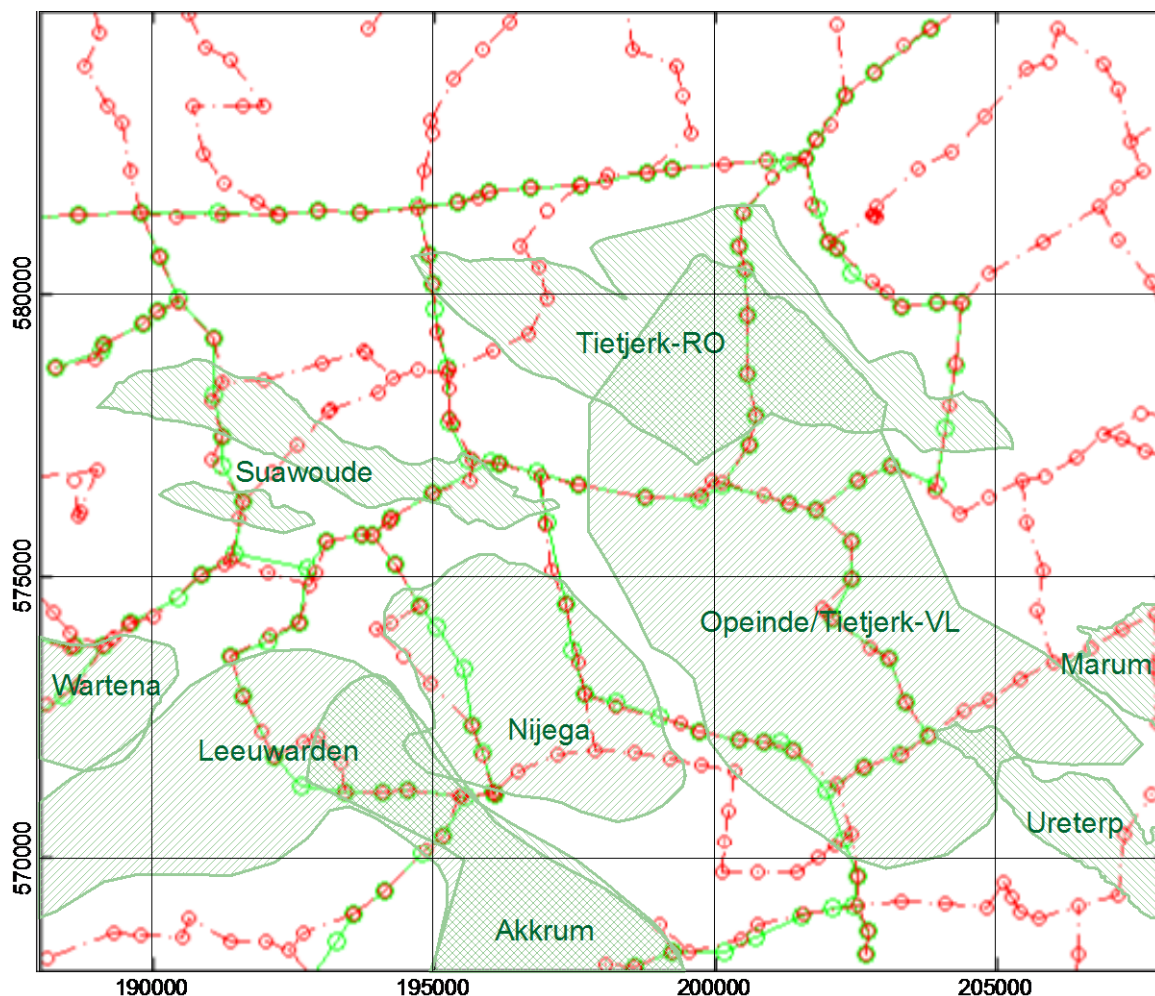
Mijnbouwers zijn wettelijk verplicht tot het uitvoeren van bodemdalingmetingen. De bodembeweging, veroorzaakt door een specifieke delfstofwinning, kan daar echter niet op een simpele manier uit worden afgeleid. De gerapporteerde mate van bodembeweging blijkt sterk afhankelijk van de manier waarop deze wordt berekend. Voor zover mijnbouwers de afgeleide bodemdaling al publiceren, wordt deze niet vóór publicatie geverifieerd door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), de inspectie belast met de controle op de naleving van de Mijnwet. Deze berekening vormt echter wel de grondslag waarop maatregelen ter beperking van schade door delfstofwinning en de vaststelling van aansprakelijkheden worden gebaseerd.

In het voorliggende rapport worden de metingen tot en met 2008 geëvalueerd en de resultaten vergeleken met voorspellingen. Omdat de sector zelf structureel in gebreke blijft, waar het gaat om de signalering van systematische onder- of overschatting van de veroorzaakte bodemdaling zullen ook daar enige woorden aan worden gewijd.

## METINGEN

### Bemonstering in ruimte en tijd

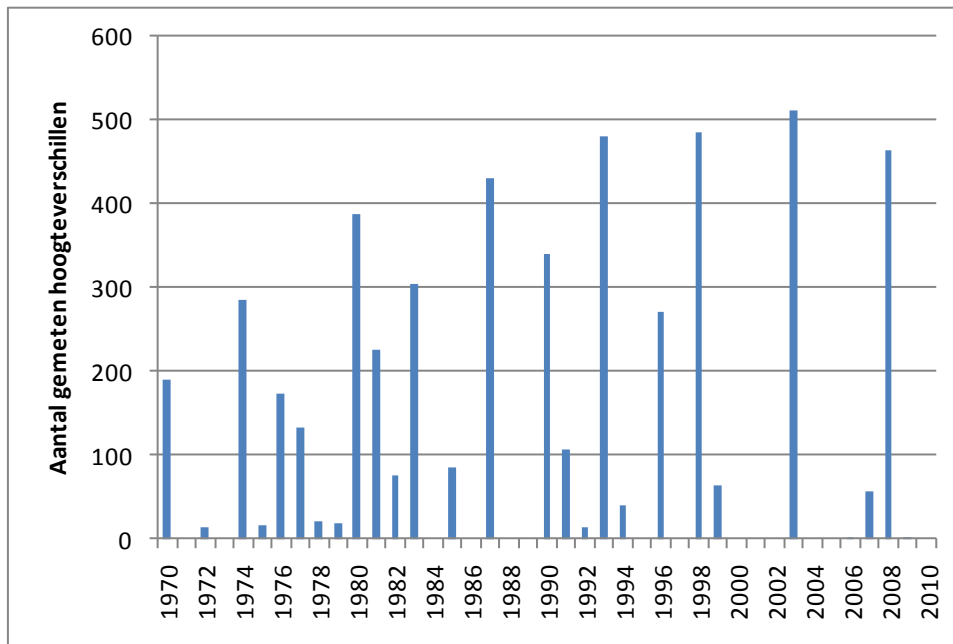
Dit onderzoek beperkt zich tot het in Figuur 1 weergegeven gebied in Oost Friesland en de periode na 1970. Figuur 2 toont de dekking van de gasvelden door de eerste waterpassing van 1970 en de laatste van 2008. Alleen waar binnen 1 km minimaal één punt ligt dat in 1970 en 2008 is aangemeten, kan de bodemdaling (onder een aantal bijkomende voorwaarden) zonder veel omhalen uit de metingen worden afgeleid. Dit is voor het grootste deel van het onderzochte gebied en met name daar, waar de daling door winning uit de Tietjerk, Suawoude, Leeuwarden en Nijega velden het grootst blijkt, niet het geval.



FIGUUR 2: GASVELDEN EN WATERPASNETWERKEN ( 1970 IN GROEN, 2008 IN ROOD)

Om de invloed van verschillende oorzaken van bodembeweging, waaronder de winning van delfstoffen, te kunnen ontraffelen moet er tussen de aanvang van

verschillende bodembeweging veroorzakende processen in het zelfde gebied ten minste een meting zijn gedaan. De gaswinning uit de velden Leeuwarden, Nijega en Akkrum is begonnen in 1971, die uit Tietjerk-RO in 1974, Opeinde in 1976, Tietjerk-VL in 1977, Ureterp en Marum in 1978, Suawoude in 1984 en Wartena in 1985. De bodemdaling komt voortvloeit uit deze winningen overlappen zowel in plaats als in tijd. Betrouwbare oorzakelijke ontrafeling is alleen mogelijk m.b.v. een integrale 3D analyse, waarin alle metingen in ruimte en tijd tegelijk in hun onderlinge samenhang worden beschouwd. De bemonstering in tijd (Figuur 3) is net voldoende voor een redelijke oorzakelijke ontrafeling.



FIGUUR 3: TEMPORALE BEMONSTERING TIETJERK-DRACHTEN

## TOTALE BODEMDALING

### Metingen

Vanaf 1970 zijn in het onderzoeksgebied 5198 hoogteverschillen gewaterpast tussen 1279 meetpunten. Een aanzienlijk deel hiervan was gericht op de bijhouding van het NAP, maar vormt een welkome aanvulling, waarmee onder andere het gedrag van de bodem voor aanvang van specifieke winningen beter kan worden bepaald.

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 323 meetpunten.

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

## Rekenmethode

De kwaliteit van bodemdalingcijfers wordt sterker bepaald door hun betrouwbaarheid (de afwezigheid van verborgen gebreken) dan door hun precisie. Subjectieve referentiekeuze, meetfouten, misidentificatie van meetpunten, meetpuntverstoring en subjectieve verwerping van ‘instabiele’ meetpunten vormen de voornaamste bedreigingen voor die betrouwbaarheid. De bescherming hiertegen is direct afhankelijk van de gevolgde rekenmethode. In het hoofdstuk ‘Verbeteringstrajecten’ zal hier nader op worden ingegaan. Dit onderzoek is verricht volgens de integrale 3D analyse methode (Houtenbos, 2005a, pp. 84-88).

## 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 invloedssfeer 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 puntruis 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. De parameters van ruiscomponenten zijn d.m.v. een variantie component analyse uit het totaal van de metingen berekend:

| Component | Standaard deviatie ruiseffect op relatieve daling   |
|-----------|---|
| Meetruis  | $0.76 \text{ mm} * \sqrt{2 * \text{afstand in km}}$   |
| Puntruis  | $0.30 \text{ mm} * (\text{periode in jaren})^{0.95} * \sqrt{2}$   |
| Modelruis | $0.79 \text{ mm} * (\text{periode in jaren})^{0.83} * \sqrt{2 * (1 - e^{-(\text{afstand in m}/3078)^2})}$ |

**Tabel 1: Ruiscomponenten Tietjerk-Drachten 1970-2010**

## Toetsing

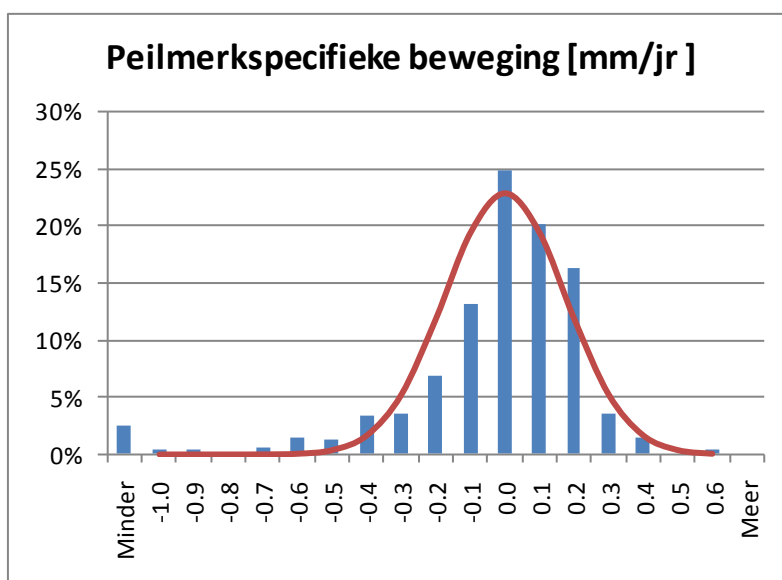
De metingen zijn statistisch getoetst op meetfouten en onregelmatig meetpunt gedrag. Deze toetsing detecteerde 11 meetfouten in grootte variërend van 1.4 tot 8 mm, 2 peilmerkverstoringen van 5 en 7 mm, 11 onjuiste peilmerkaanmetingen variërend van 3 tot 187 mm en 5 instabiele peilmerken met snelheidsafwijkingen tussen de 3 en 15 mm over een jaar. Voor nog 23 andere gedetecteerde onregelmatigheden waren er onvoldoende overtallige waarnemingen om ook de aard van de



onregelmatigheid vast te stellen. Alle gedetecteerde onregelmatigheden zijn met minimaal informatieverlies onschadelijk gemaakt.

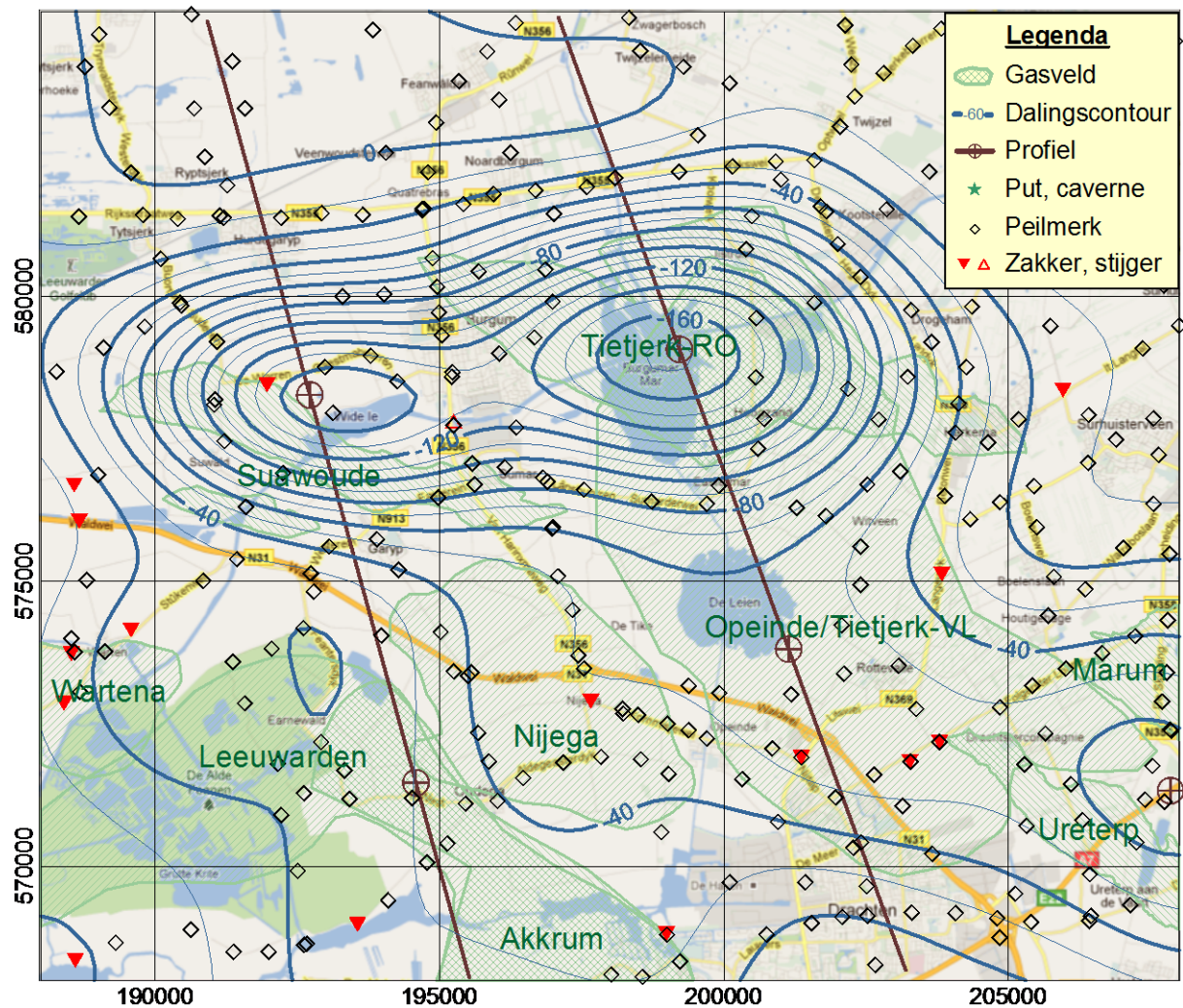
## Peilmerkzetting

Voor elk individueel peilmerk is de peilmerkspecifieke beweging gescheiden van de bodembeweging. De gemiddelde peilmerkbeweging in de omgeving levert de bodembeweging op. Het verschil tussen de beweging van het individuele peilmerk en de gemiddelde peilmerkbeweging in de omgeving is de peilmerkspecifieke beweging, d.w.z. de beweging van het peilmerk ten opzichte van de bodem. 95% van de peilmerken in het onderzoeksgebied beweegt met een snelheid van minder dan 0.5 mm per jaar ten opzichte van de bodem en valt daarmee in de hoogste stabiliteitsklasse. De stabiliteit van de peilmerken in dit gebied steekt gunstig af tegen die elders in Noord-Nederland.



FIGUUR 4: HISTOGRAM PEILMERKSPECIFIEKE BEWEGING OVER 37 JAAR

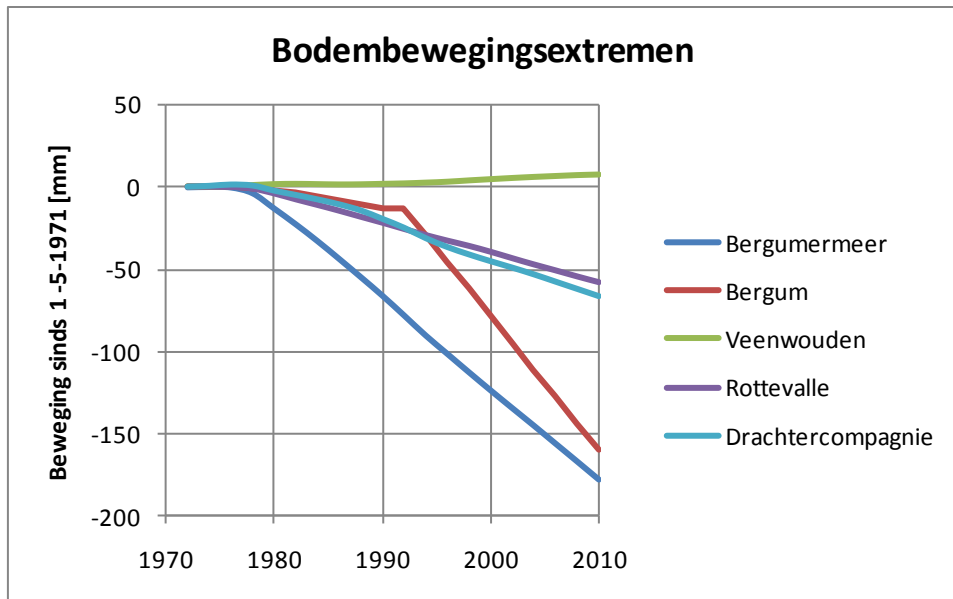
## Bodembeweging



FIGUUR 5: BODEMBEWEGING TIETJERK-DRACHTEN 1971-2008 IN MM

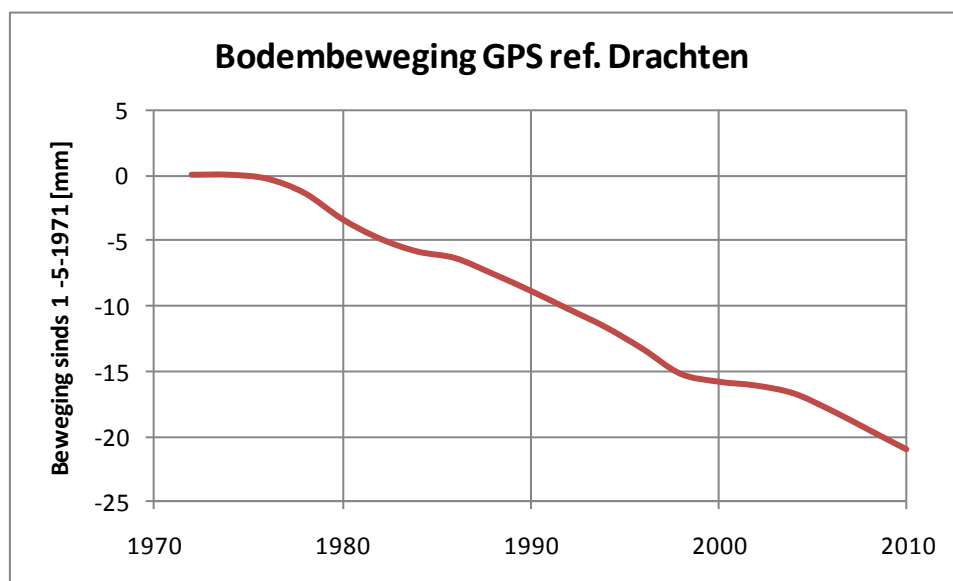
De bodembeweging is berekend over de periode vanaf het begin van de gaswinning uit het Leeuwardenveld op 01-05-1971 tot de laatste meting rond 27-05-2008. De berekende bodembeweging over deze periode varieert van 5 mm stijging rond Veerwouden tot 171 mm daling in het Bergumermeer. De omsluiting van het sterks dalende gebied door drie stabiele gebieden, Veerwouden, Sytebuorren en Augustinusga, legt een solide referentiebasis onder de berekening. De standaardafwijking van de berekende bodembeweging varieert van 5.5 mm in het centrale deel van het onderzoeksgebied tot 10 mm in uithoeken van het onderzoeksgebied met weinig meetgegevens.

Figuur 6 toont het verloop van de bodembeweging op de locatie met de minste daling (Veerwouden) en die bij enkel lokale maxima in de bodemdaling. Het verloop van de bodemdaling bij Bergum verraadt de aanwezigheid van meerdere oorzaken, die op verschillende tijdstippen met verschillende intensiteiten toeslaan.



FIGUUR 6: BODEMDALINGSVERLOOP IN LOKALE MINIMA & MAXIMA

De bodembeweging in Drachten heeft een bijzondere betekenis voor de meting van bodembeweging op het Wad. Een van de daarvoor gebruikte GPS referentiepunten staat in Drachten en is onderhevig aan ruim 0.5 mm per jaar bodemdaling. De bodemdaling op het Wad zal daardoor ruim 0.5 mm per jaar worden onderschat ten opzichte van Drachten.



FIGUUR 7: BODEMBEWEGING ONDER HET WADDEN GPS REFRENTIEPUNT IN DRACHTEN

## GEOMETRISCHE ONTRAFELING

### In ruimte en tijd

De boven berekende totale bodemdaling laat zich middels een *Principal Component Analysis* tot grote nauwkeurigheid ontleden in vijf kommen, die elk een ruimtelijk en temporaal samenhangend bodemdalingfenomeen beschrijven. Plaats, vorm en

ontwikkeling van zo'n bodemdalingkom worden gekarakteriseerd door een analytische functie:

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

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

Deze generieke functie kan zich via geschikte parameterwaardes (vgl. Tabel 2) exact transformeren naar de in (TNO, 2003) en (Frisia Zout B.V., 2007) gebruikte functie voor de modellering van zoutwinning in Barradeel en de in (Pollmann, 1984) gebruikte functie voor de beschrijving van bodemdaling door samendrukking van cavernes. De functie voegt zich ook zeer nauwkeurig naar de door (Geertsma, 1973) beschreven bodemdaling boven schijfvormige gasreservoirs over het gehele spectrum van reële reservoir straal/diepte verhoudingen.

De parameters van de vijf kommen zijn simultaan bepaald door optimale aanpassing aan de voor elk van de meetpunten berekende bodemdaling sinds 01-05-1971. Het resultaat voor de datum van laatste meting, 27-05-2008, was:

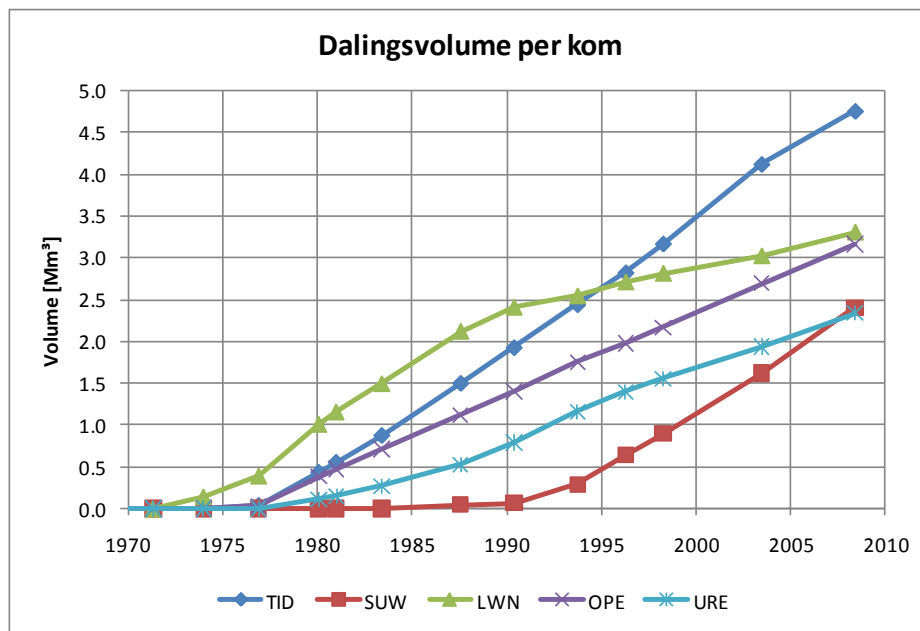
| Parameter                 | Symb      | TID    | SUW    | LWN    | OPE    | URE    |
|---------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| X coördinaat komhart [m]  | $x_{mid}$ | 199218 | 192721 | 194587 | 201138 | 207850 |
| Y coördinaat komhart [m]  | $y_{mid}$ | 579072 | 578271 | 571467 | 573811 | 571327 |
| Lange komstraal [m]       | $a$       | 2907   | 2371   | 5798   | 3377   | 2707   |
| Korte komstraal [m]       | $b$       | 1791   | 1439   | 4334   | 2767   | 2344   |
| Kaarthoek lange komas [°] | $\alpha$  | 89     | 97     | 142    | 129    | 110    |
| Afplatting                | $\delta$  | 2.14   | 2.20   | 2.73   | 1.90   | 2.00   |
| Diepte in komhart [mm]    | $z_{max}$ | -156   | -124   | -28    | -51    | -59    |

TABEL 2: KOMPARAMETERS BIJ LAATSTE METING

Voor het tijdstip van elk van de gebiedsdekkende metingen is op deze wijze de totale bodemdaling tot het moment van meting berekend en ontleed in samenstellende delen. Hierdoor ontstaat het in Figuur 8 weergegeven beeld van de diepte en volume ontwikkeling per kom.

Alhoewel de diepte van de LWN en OPE kommen weinig reden tot zorg geeft, is hun bijdrage aan het totale bodemdalingsvolume vergelijkbaar met die van de veel diepere TID en SUW kommen. Het is vooral dit bodemdalingsvolume dat een bedreiging vormt van de waterhuishouding in het onderzoeksgebied.

De voor elk punt bij elke meting berekende totale bodemdaling past met een standaardafwijking oplopend van 0.6 mm voor de meting van 1974 tot 3.2 mm voor de meting van 2008 bij de som van de vijf kommen.


**FIGUUR 8: VOLUME ONTWIKKELING BODEMDALINGSKOMMEN**

Er zijn in het onderzoeksgebied geen aanwijzingen dat andere fenomenen dan gaswinning ruimtelijk en temporaal samenhangende bodemdaling van enige importantie kunnen hebben veroorzaakt. Voorzover er al significante aanpassingen van polderpeilen zijn geweest zullen zij vooral klink en oxidatie hebben veroorzaakt van het holocene pakket boven het fundatieniveau van de peilmerken en de metingen tussen de stabiel bevonden peilmerken dus niet hebben beïnvloed. De effecten van polderpeilaanpassingen ter compensatie van door gaswinning veroorzaakte bodemdaling zijn indirect effecten van de gaswinning en hoeven daar dus niet van afgescheiden te worden. Op grond van plaats, vorm en ontwikkeling in de tijd zijn de vijf kommen plausibel aan de gaswinningen te koppelen:

| Kom        | Gasveld               | Sinds | Operator  |
|------------|-----------------------|-------|-----------|
| <b>TID</b> | Tietjerk-Rotliegendes | 1974  | NAM       |
| <b>SUW</b> | Suawoude              | 1984  | NAM       |
| <b>LWN</b> | Leeuwarden            | 1971  | Vermilion |
|            | Nijega                | 1971  | Vermilion |
| <b>OPE</b> | Opeinde               | 1976  | Vermilion |
|            | Tietjerk-Vlieland     | 1977  | NAM       |
| <b>URE</b> | Ureterp               | 1978  | NAM       |
|            | Marum                 | 1978  | NAM       |

**TABEL 3: KOPPELING BODEMDALINGSKOM-GASWINNING**

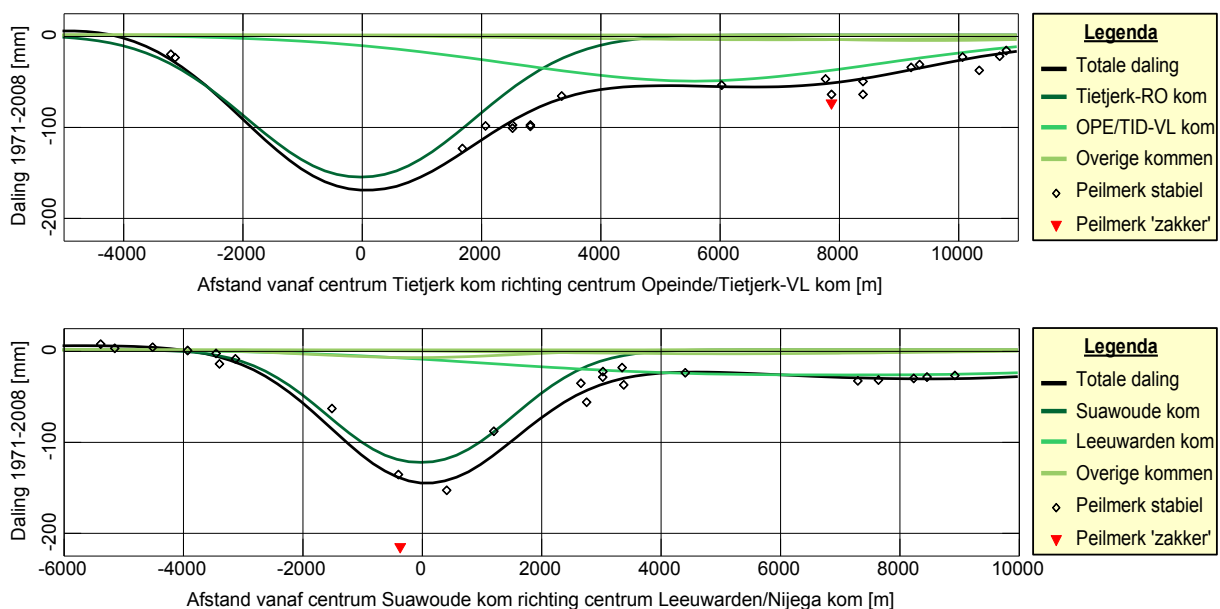
De URE-kom ligt maar voor de helft binnen het onderzoeksgebied. Voldoende om de bodemdaling door gaswinning uit het Opeinde/Tietjerk-Vlieland te kunnen scheiden van die door gaswinning uit andere velden, maar onvoldoende voor een betrouwbare schatting van de bodemdaling, die uitsluitend door de gaswinning uit de Ureterp- en Marumvelden wordt veroorzaakt.

De precisie waarmee bodembeweging door een specifieke oorzaak uit metingen afgeleid kan worden is afhankelijk van de veroorzaakte bodembeweging, uitgedrukt in mm per kilometer per jaar. De grote ondiepe kommen Opeinde/Tietjerk-Vlieland en Leeuwarden/Nijega laten zich om deze reden veel minder nauwkeurig bepalen dan de Tietjerk-Rotliendes en Suawoude kommen.

## En profiel

Figuur 9 toont de ontrafeling van de gemeten bodemdaling naar oorzaak langs een lijn door het hart van de TID en OPE kommen boven en door SUW en LWN onder. Deze lijnen zijn in een bruin kleur aangegeven in Figuur 5. De peilmerkdaling van punten binnen 1 kilometer van het profiel is langs de contourlijnen van de bodemdaling op het profiel geprojecteerd.

De wederzijdse beïnvloeding is beperkt. Van de, op het diepste punt van de Tietjerk-RO kom gemeten, 170 mm bodemdaling is slechts 12 mm veroorzaakt door gaswinning uit het naburige Opeinde/Tietjerk-VL veld. De gaswinningen uit Leeuwarden-Nijega en Tietjerk-RO droegen respectievelijk 10 en 9 mm bij aan de 146 mm bodemdaling in het hart van de Suawoude kom. Alle andere onderlinge beïnvloedingen bleven onder de 5 mm.

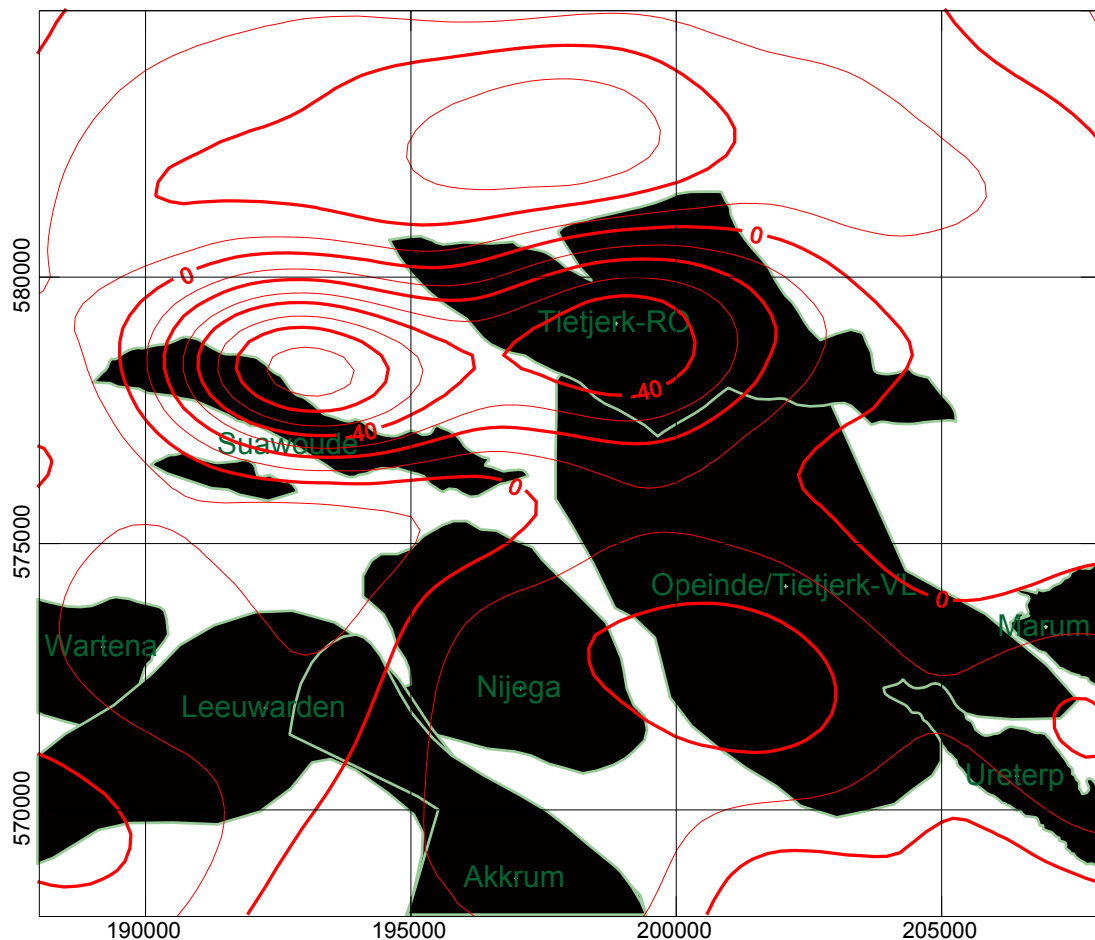


FIGUUR 9: OORZAKELIJKE ONTLEDING LANGS PROFIELEN (ZIE FIGUUR 5)

## Voorspelde versus gemeten daling

De winningsplannen 'Tietjerk' (NAM, 2003) en 'Leeuwarden en Nijega' (Total, 2003), uitgebracht in 2003, specificeren de voorspelde bodemdaling ten gevolge van de gaswinning uit de NAM en Vermilion velden in het onderzoeksgebied. Hieruit is de

verwachting voor de bodemdaling door gaswinning uit alle velden tezamen tot 2008, het jaar van de laatste meting, afgeleid. Het verschil tussen de voorspelde en gemeten bodemdaling in 2008 is weergegeven in Figuur 10.



FIGUUR 10: IN 2008 GEMETEN MINUS IN 2003 VOOR 2008 VOORSPELDE BODEMBEWEGING IN MM.

Tabel 4 geeft de grootste verschillen tussen de in 2003 voor 2008 voorspelde, en de in 2008 daadwerkelijk gemeten, bodembeweging.

| Plaats              | X-RD   | Y-RD   | Voorspeld | Gemeten | Vershil |
|---------------------|--------|--------|-----------|---------|---------|
| Bergumermeer        | 199000 | 578750 | -121      | -171    | -50     |
| Bergum              | 193000 | 578250 | -73       | -149    | -75     |
| Noordbergum         | 197750 | 582750 | -43       | -4      | +39     |
| Garijp              | 193000 | 574750 | -43       | -24     | +19     |
| Opeinde             | 201250 | 572500 | -30       | -56     | -26     |
| Drachtstercompagnie | 207750 | 571500 | -44       | -65     | -21     |

TABEL 4: GROOTSTE VERSCHILLEN TUSSEN VOORSPELDE EN GEMETEN BEWEGING IN MM

Na productie van 96% van het winbare gas over een periode van 29 jaar voorspelde NAM in het winningsplan 'Tietjerk' (NAM, 2003) nog maximaal 2 cm bodemdaling

boven de Tietjerksteradeel-Vlieland en Tietjerksteradeel-Rotliegend voorkomens en maximaal 3 cm boven het Suawoude voorkomen. Voor de periode na 2006 werd geen verdere bodemdaling meer voorspeld. De grove onderschatting van de bodemdaling door gaswinning uit het Suawoudeveld bij Bergum houdt mogelijk verband met een ondeskundige berekening van bodemdaling uit NAP-hoogtes. Meer hierover in hoofdstuk 'Verbeteringstrajecten' onder 'Berekening uit gegeven (NAP-)hoogtes'.

Na productie van 96% van het winbare gas over een periode van 32 jaar verwachte Total, de rechtsvoorganger van de huidige concessiehouder Vermilion, in het winningsplan 'Leeuwarden en Nijega' (Total, 2003) nog hooguit enkele millimeters bodemdaling. Hierbij werd ten onrechte verondersteld dat bodemdaling proportioneel is met productie. Het winningsplan meldt dat voor de opgegeven cijfers een onzekerheidsmarge van 20% geldt.

De grote verschillen tussen voorspelde en gerealiseerde daling plaatsen opnieuw serieuze vraagtekens bij de betrouwbaarheid van geomechanische voorspellingen. De onzekerheidsmarge voor nieuwe winningen ligt waarschijnlijk dichterbij de 100% (Barends, 2011) dan bij de regelmatig geclaimde 20-30%. De feiten spreken bovendien de stelling tegen dat de onzekerheidsmarge afneemt naar mate de bodemdalingsreactie op een groter deel van de winbare reserves gemeten is.

De hier waargenomen verschillen passen in een patroon dat zich stelselmatig openbaart in vergelijkingen tussen voorspelde en gerealiseerde bodemdaling door gaswinning: de bodemdalingen zijn structureel dieper, steiler en smaller dan voorspeld. Bovendien worden de na-ijleffecten van bodemdaling door gaswinning systematisch grotelijks onderschat.

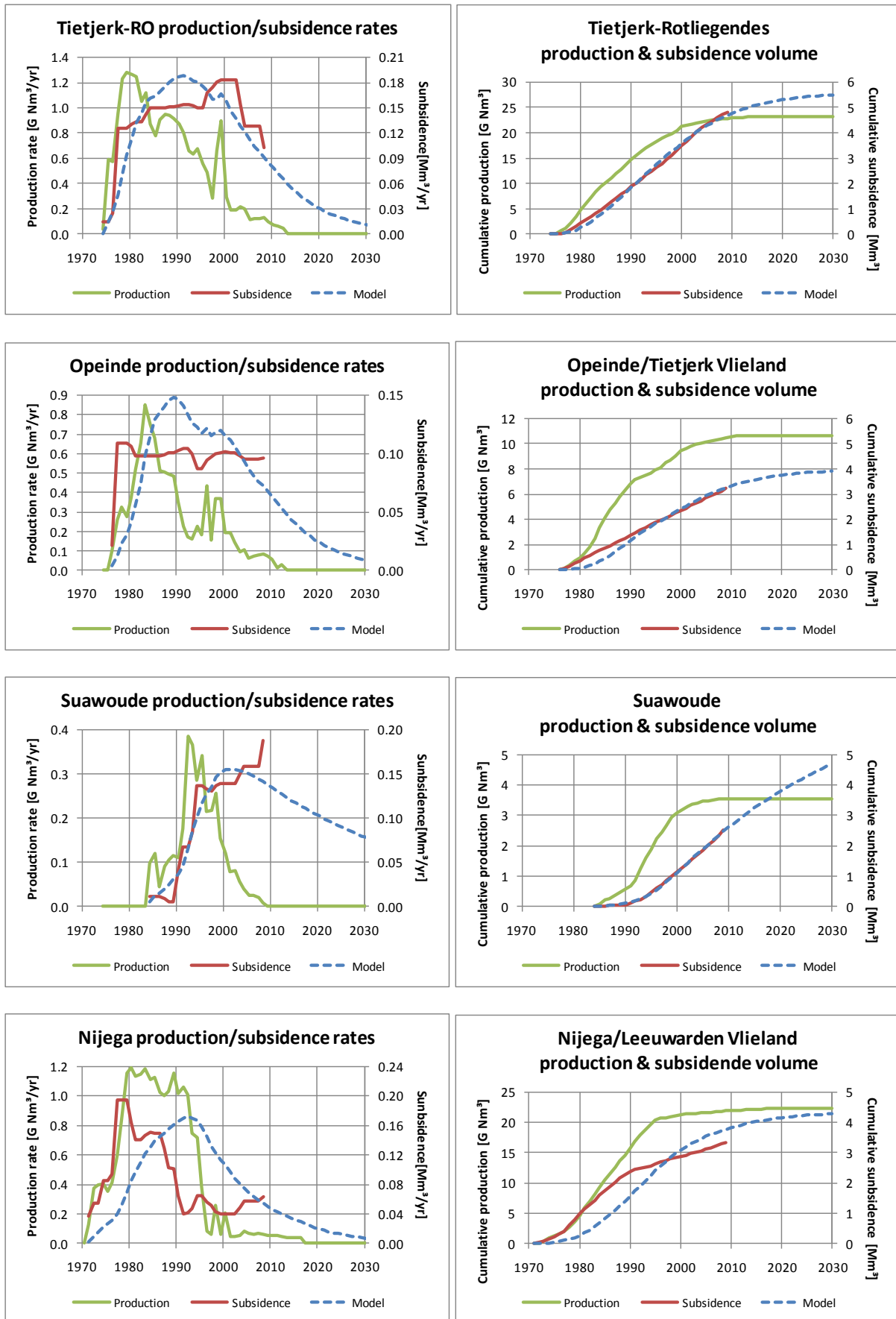
## Van gaswinning naar bodemdaling

Tabel 5 geeft de voornaamste kentallen van de relatie tussen de gaswinning in het onderzoeksgebied en de bodemdaling, die daar het gevolg van is.

| Parameter\kom                                     | TID      | SUW      | OPE      | LWN      |
|---|----------|----------|----------|----------|
| Productie t/m 2008 [M Nm <sup>3</sup> ]           | 22848    | 3541     | 10460    | 21887    |
| Productiesnelheid 2008 [M Nm <sup>3</sup> /jr]    | 129      | 9        | 82       | 65       |
| Diepte komhart 2008 [mm]                          | -156     | -124     | -51      | -28      |
| Vert. snelheid komhart 2008 [mm/jr]               | -4.4     | -8.4     | -1.5     | -0.5     |
| Dalingsvolume t/m 2008 [M m <sup>3</sup> ]        | 4.76     | 2.40     | 3.31     | 3.16     |
| Snelheid groei dalingsvol. [M m <sup>3</sup> /jr] | 0.096    | 0.195    | 0.096    | 0.065    |
| Dalingsvol. per productie-eenheid                 | 2.31E-04 | 2.13E-03 | 2.78E-04 | 1.08E-03 |
| Retardatie constante [jaar]                       | 9.92     | 36.97    | 7.69     | 57.56    |

TABEL 5: KENTALLEN VAN DE RELATIE TUSSEN GASWINNING EN BODEMDALING





FIGUUR 11: LINKS SNELHEID, RECHTS CUMULATIE VAN PRODUCTIE EN BODEMDALINGVOLUMES

Het bodemdalingsvolume door gaswinning was in 2008 opgelopen tot 13.6 miljoen kubieke meter. Dit volume neemt toe met een kleine 0.5 miljoen kubieke meter per jaar.

Figuur 11 toont links per kom de snelheid van gaswinning en bodemdaling, rechts de cumulatieve productie en daling. In blauw is de bodemdaling toegevoegd, die op grond van een exponentieel response model (Houtenbos, 2005b), (Barends, 2011) moet worden verwacht van de gerealiseerde en nog geplande gaswinning.

De productiesnelheid (groen in Figuur 11, links) is alle gevallen exponentieel afgenomen tot minder dan 10% van de hoogst bereikte snelheid. De snelheid van bodemdaling is daartegen, behalve boven het Leeuwarden en Nijega veld, slechts marginaal afgenomen. Ondanks een gedecimeerde productie (vlakke cumulatieve productiecurve na 2010, groene lijn rechts) groeit het bodemdalingsvolume (blauwe lijn rechts) stevig door. De veronderstelling dat eenmaal in gang gezette bodemdaling ‘met de hand aan de kraan’ tot de orde geroepen kan worden, wordt door de bevindingen in dit en soortgelijke onderzoeken tegengesproken. Daar staan geen gepubliceerde gevallen tegenover, waarin de bodemdaling wel redelijk proportioneel en direct op matiging van de productiesnelheid reageerde. Controle van bodemdaling, zoals die onder het Wad, door productie ‘met de hand aan de kraan’ blijkt een illusie te zijn.

Voor de bodemdaling boven het Suawoudeveld baart zorgen. De relatie tussen gaswinning en bodemdaling lijkt volledig op drift geraakt en vertoont veel gelijkenis met die van de gaswinning uit het Harlingenveld bij Franeker (Houtenbos, 2009). De gaswinning uit het Harlingenveld moest in 2008 worden gestaakt in verband met oncontroleerbaar snelle bodemdaling. Desondanks laten de laatst gepubliceerde GPS metingen tot januari 2011 (SodM, 2011) nog altijd geen significante afname van de bodemdalingssnelheid zien. Productie uit het Suawoudeveld is nog niet gestaakt. Het lijkt in weerwil van de aflopende productie af te stevenen op een verdubbeling van het in 2008 gemeten bodemdalingsvolume rond 2030.

## VERBETERINGSTRAJECTEN

### Inleiding

Bodemdalingcijfers vormen de grondslag voor een de verdeling van aansprakelijkheden voor bodemdalingsschade tussen mijnbouwers, provincies, waterschappen, gemeenten en ingelanden. De betrouwbaarheid van deze exclusief door mijnbouwers aangeleverde gegevens is daarom van cruciaal belang.

Tussen 2003 en 2007 is de betrouwbaarheid van zowel gemeten als voorspelde bodemdaling ernstig in opspraak geraakt. TNO voorspelde ten onrechte het terugveren van de bodem na afloop van de zoutwinning bij Sexbierum op grond van een kalibratie tegen amateuristisch en onjuist uit metingen afgeleide bodembeweging. SodM verwierp vijf jaar lang de meetpunten, die de onjuistheid van het geomechanische bodemdalingsmodel voor de gaswinning bij Franeker aantoonde, waarna de

gaswinning alsnog moest worden gestaakt. NAM stelde keer op keer de Ameland bodemdalingsprognose naar boven toe bij, maar trok nooit de conclusie dat de (bi-)lineaire relatie tussen gaswinning en bodemdaling toe is aan een fundamentele herziening in het licht van zich opstapelende bewijzen uit een breed spectrum aan gaswinningen.

Voorzover er ontwikkelingen zijn om de betrouwbaarheid van gemeten en voorspelde bodemdaling te verbeteren vinden deze plaats binnen de beslotenheid van de mijnbouwsector. Het blijft onduidelijk in hoeverre deze ontwikkelingen aan de maatschappelijke zorgen over de betrouwbaarheid van bodemdalingcijfers tegemoet zullen komen. Dat geldt ook voor de ontwikkeling van een industrieleidraad voor de geometrische bepaling van bodembeweging door delfstofwinning.

Het waren vooral de ondeskundige rekenmethodes die in het verleden de problemen met de betrouwbaarheid van de 'gemeten' bodembeweging veroorzaakten. Reden om de ervaringen met de verschillende methodes hieronder nog eens onder de aandacht te brengen.

## Rekenmethodiek

De kwaliteit van bodemdalingcijfers wordt vooral bepaald door de gebruikte rekenmethode. De verschillende meetmethoden, waterpassing, GPS en InSar, leveren in potentie hoogteverschilmetingen van vergelijkbare precisie. Verschillende rekensystemen leveren daarentegen resultaten die sterk verschillen in betrouwbaarheid, de afwezigheid van verborgen gebreken. Subjectieve referentiekeuze, meetfouten, onjuiste aanmeting van meetpunten, meetpuntverstoring en selectieve verwerping van 'instabiele' meetpunten vormen de voornaamste bedreigingen voor de betrouwbaarheid.

De meest gangbare rekenmethodieken zijn berekening direct uit gegeven hoogtes, uit epoche vereffening en uit integrale 3D vereffening.

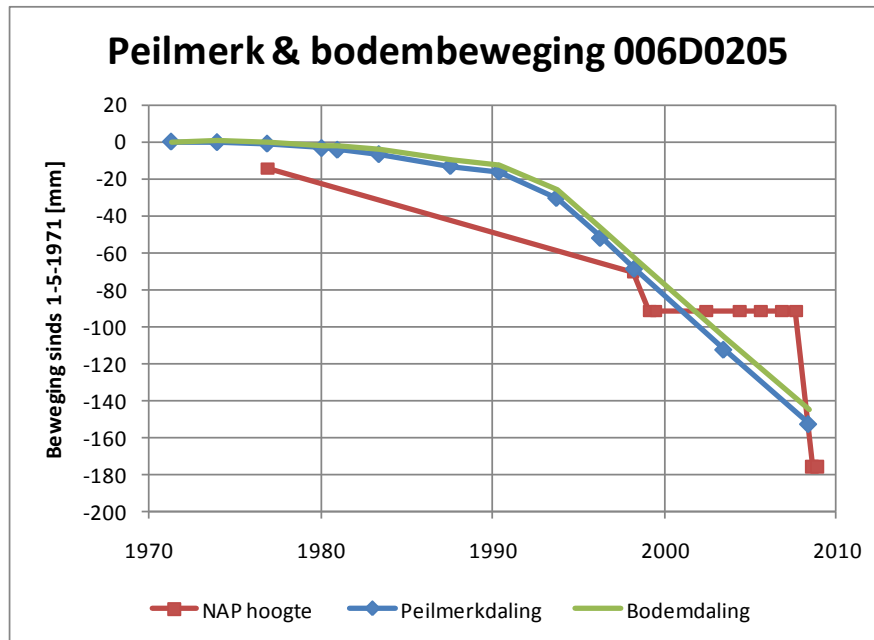
### Berekening uit gegeven (NAP-)hoogtes

Deze methode werd o.a. door TNO gevolgd in het BodalGis product ter ondersteuning van waterschappen en door GeoConsult ter bepaling van bodembeweging langs de Hondsbossche en Pettemer Zeewering (Schokking & Nieuwland, 2010). De methode gaat geheel voorbij aan het feit dat de hoogterefentie (gebruikte aansluitpunten) van project tot project tot enkele centimeters kan verschillen. Het afgeleide verloop van een peilmerkhoogte in de tijd zegt daarom soms meer over de op verschillende meettijdstippen gebruikte aansluithoogtes dan over de beweging van het peilmerk.

Figuur 12 illustreert dit punt aan de hand van een peilmerk in het hart van de Suawoudekom. Tussen februari 1999 en augustus 2008 is de hoogte van het peilmerk 006D0205 op zes verschillende tijdstippen herberekend, steeds met dezelfde metingen uit 1999, maar ten opzichte van wisselende aansluitpunten in de onmiddellijke omgeving. Hierbij werden aansluithoogtes gebruikt die al in 1999 waren bepaald en de beweging sinds 1999 dus niet weerspiegelden. Dit wekt de valse

schijn, dat de Suawoudekom tussen 1999 en 2008 niet dieper is geworden. In werkelijkheid daalde de bodem ter plaatse in die periode meer dan 8 cm.

Het negeren van referentieverschillen diskwalificeert deze rekenmethode dusdanig, dat behandeling van verder bezwaren tegen deze methode zinloos is. De methode is aantrekkelijk door zijn eenvoud, maar volkomen onbetrouwbaar.



FIGUUR 12: VERLOOP GEGEVEN NAP-HOOGTE, INTEGRAAL VEREFFENDE PEILMERK- EN BODEMDALING

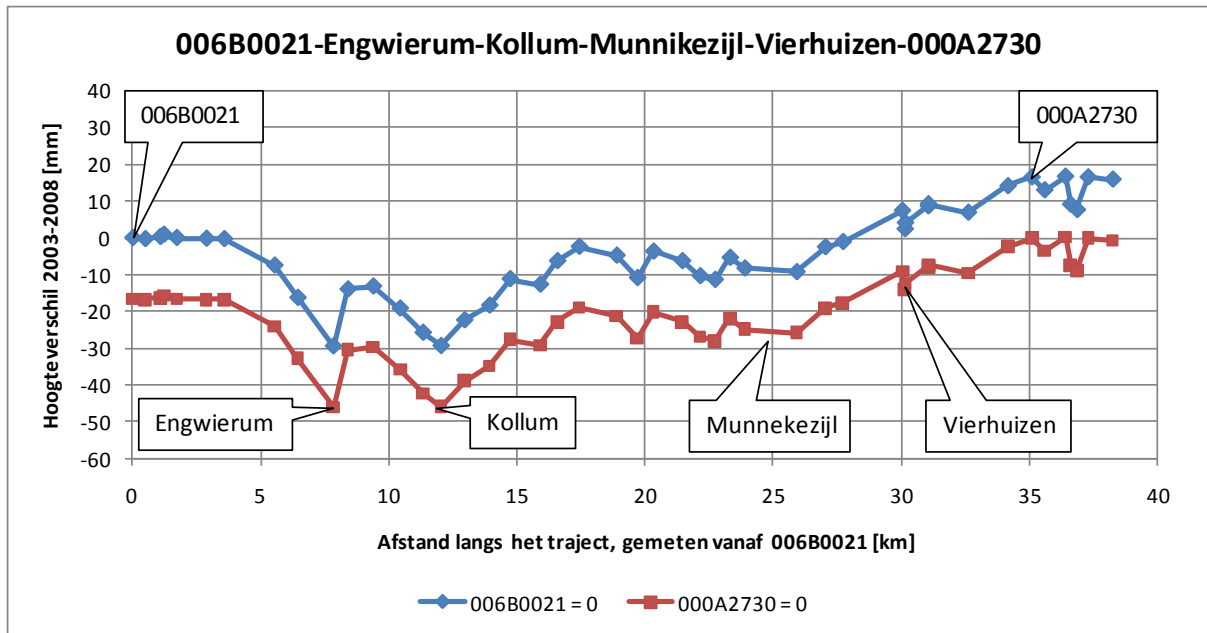
### Berekening uit epoche vereffeningen

Dit is de door SodM, de inspectie van het mijnwezen, voorgeschreven methodiek. Hierin wordt de peilmerkhoogte ten tijde van elke meting berekend ten opzichte van een vast, stabiel verondersteld aansluitpunt. De peilmerkhoogteveranderingen tussen meettijdstippen worden gerapporteerd in de 'Staat van Periodieke Verschillen'.

Afhankelijk van de (subjectieve) keuze van dit aansluitpunt kan de berekende peilmerkbeweging enkele centimeters verschillen. Figuur 13 illustreert dit punt aan de hand van bodemdalingmetingen in Noord-Nederland (NAM, 2010).

Als in plaats van het peilmerk 006B0021 het ondergrondse merk 000A2730 (Kruisweg) als aansluitpunt gekozen was, zou de berekende daling boven de gasvelden over de periode 2003-2008 16 mm groter zijn geweest.

Bodembeweging, in het bijzonder die door delfstofwinning op diepte, verloopt zeer geleidelijk in ruimte en tijd. Meetpuntzetting, verschilt afhankelijk van funderingscondities sterk van meetpunt tot meetpunt, maar verloopt wel geleidelijk in de tijd. De berekening uit epoche vereffeningen gaat geheel voorbij aan de mogelijkheden die deze fysieke correlaties bieden om de kwaliteit van bodemdalingcijfers te verbeteren. Meetpuntzetting en bodembeweging worden in deze methodiek niet gescheiden. De methode resulteert, ongeacht of ze wordt toegepast op waterpas, InSar of GPS metingen, in meetpuntbeweging, niet de gezochte bodembeweging.



FIGUUR 13: INVLOED KEUZE AANSLUITPUNT

Door het ontbreken van controles op waterpasmetingen in de tijdsdimensie is de kans op verborgen gebreken, zoals een onvoldoend stabiele referentie, meetfouten, ongelukkige accumulatie van meetruis, misidentificatie van meetpunten, meetpuntverstoring en afwijkende meetpuntzettingen, groot. Bij kalibratie van een geomechanisch bodembewegingmodel tegen de gerapporteerde meetpuntbeweging blijkt de verleiding groot om meetpunten, die niet in het geomechanisch model passen, te verwerpen, ondanks dat zij wel ruimtelijk consistent zijn met de overige meetpunten.

Ook voor een klein onderzoeksgebied zonder overlappende bodemdalingfenomenen biedt de rekenmethode via epoche vereffeningen onvoldoende bescherming tegen veelvuldig voorkomende foutenbronnen en is zij te kwetsbaar voor subjectieve referentiepuntkeuze en verwerping van meetpunten.

### Integrale 3D analyse

In de integrale 3D analyse worden alle hoogteverschilmetingen in het gebied en de periode van onderzoek tegelijk vereffend en getoetst. De bewegingsreferentie wordt zodanig bepaald dat de gemiddelde bodembeweging over het hele buitengebied nul is. Meetpuntzetting is fysiek sterk gecorreleerd in de tijd, bodembeweging in ruimte en tijd. De standaard deviaties en correlaties van meetruis, meetpuntzetting en bodembeweging worden uit het totaal van de metingen bepaald. In de integrale 3D analyse worden de correlaties gebruikt voor een scherpe toetsing op meetfouten en onregelmatig meetpuntgedrag. Vereffening en toetsing zijn geheel geautomatiseerd. De statistiek stuurt de verwerpingen, de gebruiker heeft daarop geen invloed.

Voor een betrouwbare berekening van bodembeweging uit hoogteverschilmetingen is een rekenwijze met de karakteristieken van de Integrale 3D analyse nodig.

Er bestaat op dit moment nog geen goed gedocumenteerde, gebruikersvriendelijke programmatuur voor een betrouwbare berekening van bodemdaling uit hoogteverschilmetingen. De kennis nodig voor de ontwikkeling en het beheer van dergelijke

software is bovendien buitengewoon schaars. Waar dergelijke problemen in het verleden in de weg stonden van een winstgevende delfstofwinning is het organisatorische vermogen en technisch vernuft van de mijnbouwsector telkens voldoende gebleken om de benodigde kennis binnen te halen en de problemen op te lossen. Wat overblijft is de noodzaak voor SodM om de, uit de wet voortvloeiende, eis betrouwbare bodemdalingcijfers te produceren zodanig scherp te formuleren, dat dit door de mijnbouwsector ook als een noodzakelijk voorwaarde voor winstgevendheid wordt ervaren.

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

1. Tussen 1971 en 2008 is de bodem bij het Bergumermeer 17 cm gedaald, bij Bergum 15 cm, bij Rottevalle 6 cm en bij Drachtstercompagnie 6 cm. Het gebied rond Veenwouden is ietsje gestegen.
2. Het ruimtelijke patroon van de bodemdaling en de ontwikkeling daarvan in de tijd zijn in overeenstemming met de plaats en periode van gaswinning in het gebied. Er zijn geen aanwijzingen dat andere oorzaken dan gaswinning hebben bijgedragen aan de waargenomen patronen van relatieve bodembeweging.
3. De gaswinningen van NAM en Vermilion uit de Tietjerk, Suawoude, Opeinde en Leeuwarden en Nijega velden veroorzaakten tussen 1971 en 2008 in totaal 13.3 miljoen kubieke meter bodemdaling. De bodemdalingen van Vermilion zijn veel minder diep, maar beduidend breder dan die van de NAM. Per saldo zijn ze daardoor even bedreigend voor de waterhuishouding in het gebied.
4. In 2008 is tot 100% (7.5 cm) meer bodemdaling gemeten dan vijf jaar eerder voorspeld. Na decennia lange ervaring met de productie van 96% van het winbare gas blijken nog altijd geen betrouwbare voorspellingen gemaakt te kunnen worden. Dit ondermijnt de doelmatigheid van schadebeperkende maatregelen.
5. Ondanks een gedecimeerde productie is de dalingsnelheid onveranderd hoog gebleven. De veronderstelling dat bodemdaling met de 'Hand aan de Kraan' in de hand te houden is, wordt door deze resultaten krachtig onderuit gehaald. De bodemdaling boven het Suawoude-veld lijkt zelfs geheel op drift geraakt. Het dalingsgedrag vertoont veel gelijkennis met dat boven het Harlingenveld bij Franeker. De productie uit dat veld moest in 2008 wegens oncontroleerbare daling worden gestaakt, maar de bodem daalt desondanks nog gestaag.
6. Metingen over een breed spectrum van gaswinningen hebben inmiddels overduidelijk aangetoond dat de geomechanisch veronderstelde relatie tussen productie en bodemdaling in de tijd fundamenteel onjuist is. Zonder een grondige herziening van de geomechanische modellering en strikte toetsing tegen het werkelijke verloop van de bodemdaling in de tijd zal het vertrouwen in geomechanische voorspellingen niet hersteld kunnen worden.
7. De afleiding van bodemdaling uit geodetische metingen is een vak apart. TNO, SodM, TCBB en de meeste mijnbouwers beschikken over onvoldoende specifieke geodetische deskundigheid en/of capaciteit om de opgetreden bodemdaling betrouwbaar vast te kunnen stellen. Het is raadzaam dat de mijnbouwsector de nodige zeer gespecialiseerde kennis concentreert in een kleine organisatie, die de nodige programmatuur ontwikkelt en onderhoudt en bodembewegingsanalyses aan de sector aanbiedt.

## 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.
- Frisia Zout B.V. (2007). *Analysis of Levelling Survey September 2006 v3*.  
[http://www.nlog.nl/resources/Meetregisters/Barradeel/Evaluation\\_Levelling\\_Survey\\_September\\_2006\\_v3.pdf](http://www.nlog.nl/resources/Meetregisters/Barradeel/Evaluation_Levelling_Survey_September_2006_v3.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. (2009). *Bodemdaling NW-Friesland 1976-2009*.  
<http://www.waddenzee.nl/fileadmin/content/Dossiers/Energie/pdf/NWFR09.pdf>.
- Houtenbos, A. (2005b). *Subsidence and gas production: an empirical relation*.  
<http://www.novatv.nl/uploaded/FILES/Bijlage%20Rapport%20Houtenbos.doc>.
- Houtenbos, A. (2005a). *Subsidence from geodetic measurements in the Ravenna Area*. ISBN 90 5966 041 2. Proceedings SISOLS, Shanghai, P.R. China, Special vol. pp 79-99.
- NAM. (2010). *Noord-Nederland, Differentiestaat Waddenzee*.  
[http://www.nlog.nl/resources/Meetregisters/Noord-Nederland/Differentiestaat\\_006B0021\\_Waddenzee.pdf](http://www.nlog.nl/resources/Meetregisters/Noord-Nederland/Differentiestaat_006B0021_Waddenzee.pdf).
- NAM. (2003). *Verzoek om instemming voor winningsplan 'Tietjerk'*. www.nlog.nl, Velden, Tietjerksteradeel, Winningsplan\_1 (2003) .
- Pollmann, H. (1984). *Markscheiderische Probleme bei der Bearbeitung von Ölkaverne*. Das Markscheidewesen 91, nr 2, pp. 375-382.
- Schokking, F., & Nieuwland, D. (2010). *Bodemdaling Hondsbossche en Pettemer Zeewering: gevolg van geologische processen in diepe ondergrond*. Geotechniek, Januari 2010, pp 5-57.
- TNO. (2003). *Observation and prediction of the relation between salt creep and land subsidence in solution mining. The Barradeel Case*. Richmond, Texas, USA: Solution Mining Research Institute.
- Total. (2003). *Aanvraag instemming winningsplan 'Leeuwarden en Nijega' ingevolge Mijnbouwwet artikel 34*. www.nlog.nl, Velden, Leeuwarden en Nijega, Winningsplan\_1 (2003) .