BODEMDALING NW-FRIESLAND 1976-2008

17-12-2008

Precisie en betrouwbaarheid uit metingen

Ten zuiden van Sexbierum is de bodem 33 cm gedaald, ten oosten 13,5 cm.
Ten westen van Franeker bedraagt de bodemdaling 24 cm.
De dalingsnelheid is 2 cm per jaar. Stopzetting van de gaswinning heeft nog geen merkbare invloed gehad.

SAMENVATTING

Bezorgdheid over de gevolgen van gas- en zoutwinning voor noordwest Friesland is het afgelopen jaar gegroeid. De gaswinning bij Franeker is vanwege onverwacht sterke daling in juli stilgelegd en lokale overheden verzetten zich eensgezind tegen nieuwe zoutwinning op het vaste land van Friesland.

Tegen deze achtergrond is de meest recente meting van augustus 2008 samen met alle metingen vanaf 1976, 12 jaar voor aanvang van de eerste winning, geanalyseerd.

Boven de zoutwinning ten zuiden van Sexbierum is de bodem 33 cm gedaald, boven die ten oosten van Sexbierum 13,5 cm. De bodemdaling boven het gasveld ten westen van Franeker is opgelopen tot 24 cm. De scheefstelling bereikt een maximum van 16,5 cm per km bij Pietersbierum. Het volume van de bodemdaling in noordwest Friesland sinds het begin van de eerste winning in 1988 bedraagt 4,9 miljoen m^3.

De metingen geven geen aanwijzingen voor bodemdaling door oorzaken anders dan gas- en zoutwinning.

Zoutwinning uit de BAS1 en 2 putten veroorzaakte 32 cm bodemdaling in de Rietpolder ten zuiden van Sexbierum. Na 2004 is de winning uit deze putten minimaal geweest. De dalingsnelheid bedraagt nog maar 0,3 cm per jaar. Het volume van deze dalingcomponent neemt desondanks nog toe met 90.000 m^3 per jaar.

Bodemdaling door zoutwinning uit de BAS3 put bedraagt 8 cm ten oosten van Sexbierum. Deze neemt toe met 1,0 cm per jaar, het dalingsvolume met 90.000 m^3 per jaar.

Gaswinning uit het Harlingen gasveld veroorzaakte 22 cm bodemdaling ten westen van Franeker. Deze daling neemt toe met 1,9 cm per jaar. GPS metingen hebben nog geen significante afname van de bodemdalingsnelheid na het stilleggen van de productie te zien gegeven, een indicatie dat er nog flink wat bodemdaling in de pijplijn zit. Het volume van de bodemdaling groeit met 150.000 m^3 per jaar. In de periode 1993-2001 deden zich enkele onregelmatigheden in de ontwikkeling voor, die mogelijk indicatief zijn voor het mechanisme achter de onverwacht snelle daling na 1996. Door deze onregelmatigheden kon niet worden bepaald welk percentage van de daling zich pas na verloop van tijd openbaart.

Het vermogen van de nieuwe TCBB rekenwijze om incidenten als die rond de gaswinning bij Franeker te voorkomen wordt in het rapport geëvalueerd. De late erkenning van het probleem is vooral te wijten aan te rigide vasthouden aan een theoretische model. De TCBB voorstellen maken de kans daarop nog niet minder.

De aanbevelingen in dit rapport richten zich op verhoging van de betrouwbaarheid van bodemdalingcijfers, scherpe en tijdige signalering van afwijkend dalingsgedrag en een eerlijker verdeling van de lasten van delfstofwinning.

INHOUD

SAMENVATTING 1

INLEIDING 4

BEREKENING TOTALE DALING 6
- Methodiek 6
- Onregelmatigheden 6
- Ruis 6
- Totale bodemdaling 8

GEOMETRISCHE ONTRAFELING 9
- Identificatie van afzonderlijke mechanismen 9
- Oorzakelijke scheiding 10
- Bodemdaling door gaswinning 13
- Bodemdaling door zoutwinning 16
- Ongespecificeerde bodembeweging 19

TCBB ADVIES EN DE PRAKTIJK 20
- Inleiding 20
- Rekenwijzen bodemdaling door delfstofwinning 20
  - Van overheidswege voorgeschreven rekenwijze 20
  - Methode Houtenbos 21
  - Geadviseerde rekenwijze 21
- Kanttekeningen 21
  - Beoordelingskader 21
  - Gemeten versus gemodelleerde daling 22
  - Peilmerkstabiliteit 22
  - Correlatie, interpolatie en extrapolatie 22
  - Rechtsposities 23
  - Het relatieve karakter van metingen 23

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 25
- Conclusies 25
- Aanbevelingen 27

GECITEERDE WERKEN 28

Bodemdaling NW-Friesland 1976-2008

GESPECIFICEERD NAAR OORZAAK

INLEIDING

In noordwest Friesland wordt vanaf 1988 gas gewonnen ten westen van Franeker. Onder Pietersbierum wordt vanaf 1995 ook zout gewonnen. Deze zoutwinning ging in 2004 goeddeels over naar een locatie ten oosten van Sexbierum. Delfstofwinning leidt tot bodemdaling en om deze in kaart te brengen wordt regelmatig gemeten. De meting van augustus 2008 (Oranjewoud, 2008a) (Figuur 1) vormde de aanleiding voor deze analyse.

In 2003 werd aangenomen dat de bodemdaling door zoutwinning boven de BAS1 en BAS2 cavernes ten oosten van Sexbierum na sluiting in 2004 zou omslaan in bodemstijging. Voor de gaswinning werd een redelijk constante bodemdalingsnelheid van hooguit 3,5 mm per jaar verwacht. Eerder onafhankelijk onderzoek (Houtenbos, 2004) legde naast een foutieve onderbouwing van de bodemstijging na zoutwinning ook een aanzienlijke versnelling van de bodemdaling door gaswinning vanaf 1996 bloot. Inmiddels verzetten lokale overheden zich eensgezind tegen nieuwe zoutwinning op het vaste land van Friesland en is de gaswinning bij Franeker stil gelegd.

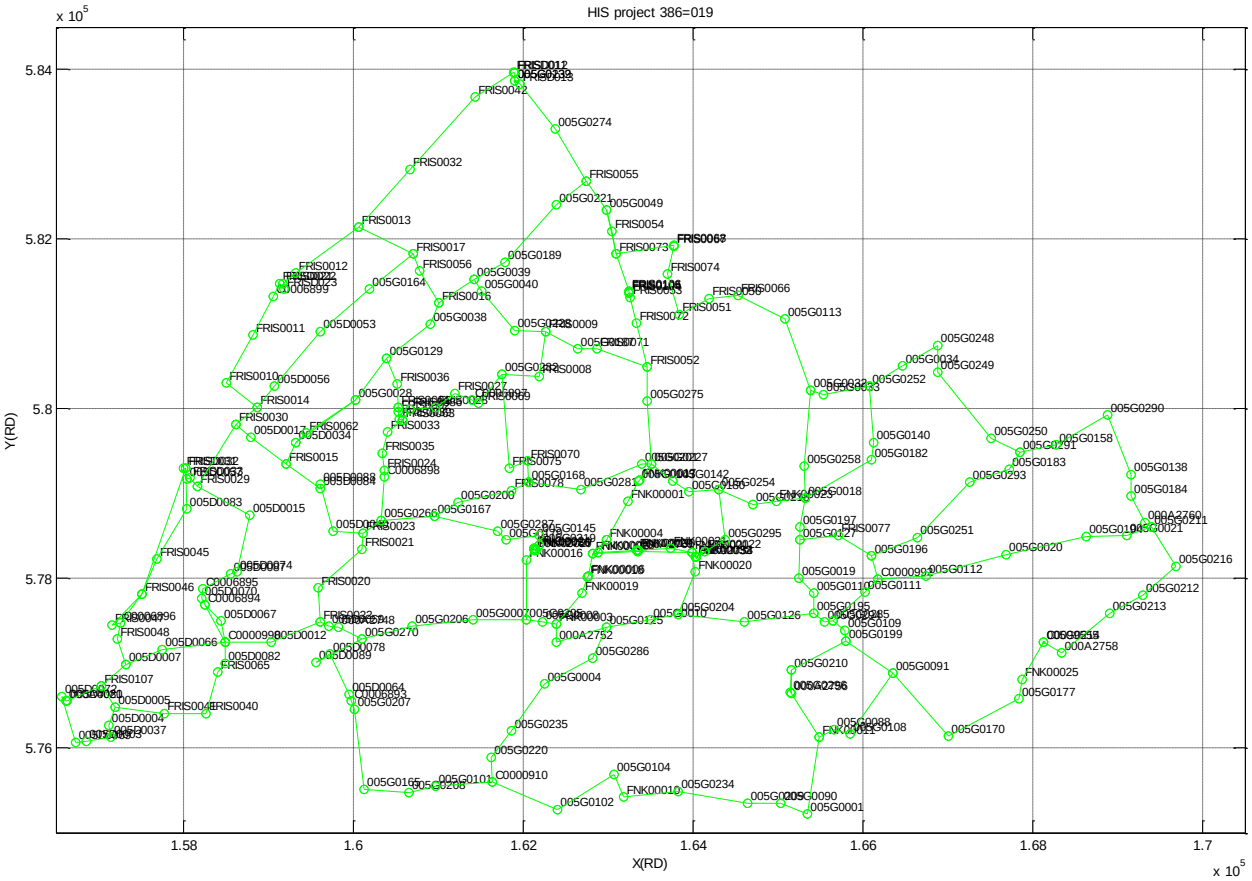
De belangen van mijnbouwondernemingen bij specificatie van bodemdaling naar oorzaak en bij publicatie van verschillen tussen verwachte en gemeten daling zijn tegengesteld aan die van lokale overheden en individuele burgers:

> *Zonder onafhankelijke analyse geen objectieve toedeling van aansprakelijkheid.*

De bodemdaling in dit rapport is berekend volgens de integrale methode, beschreven in bijlage 3 van (TCBB, 2008). De bodemdaling per oorzaak wordt berekend in twee stappen. Eerst wordt de totale bodemdaling, gezuiverd van meetruis en peilmerkeigen beweging, berekend uit de metingen. Vervolgens wordt de gemeten bodemdaling, ten gevolge van alle oorzaken tezamen, onderverdeeld in componenten met een enkelvoudige bron. Deze componenten worden op basis van plaats en ontwikkeling in de tijd gekoppeld aan oorzaken.

Alle beweging is becijferd ten opzichte van de situatie bij aanvang van de gaswinning in oktober 1988. Om onderscheid te kunnen maken tussen effecten van delfstofwinning en die van andere oorzaken zijn de NAP metingen in de 12 jaar voorafgaande aan de gaswinning integraal in de berekeningen meegenomen. Voor de

berekening waren in totaal 2332 hoogteverschilmetingen uit 28 campagnes beschikbaar. Hierbij zijn in totaal 390 peilmerken betrokken geweest.



FIGUUR 1: HET MEETNETWERK VAN AUGUSTUS 2008

BEREKENING TOTALE DALING

Methodiek

De berekening begint met een integrale, driedimensionale vereffening van alle hoogteverschilmetingen in ruimte en tijd. Tijdens deze vereffening wordt getoetst op onregelmatigheden en worden de parameters van meetruis, peilmerkinstabiliteit en imperfecties van het bodembewegingmodel berekend.

> *Zonder specifieke geodetische deskundigheid,*
> *geen betrouwbare cijfers voor werkelijk opgetreden bodemdaling.*

Onregelmatigheden

0,5% van de gemeten hoogteverschillen werd verworpen. Alle gevonden meetfouten waren kleiner dan 4 mm. Twee daarvan werden gevonden in hoogteverschillen uit de laatste meting van 2008: FRIS0067-FRIS0068 en FNK00005-FNK00006.

De peilmerken 005D0087, 005G0219, FNK00024, 005D0083 en FRIS0086 zijn statistisch instabiel bevonden.

Overige onregelmatigheden betreffen geïsoleerde punten op geïsoleerde tijdstippen.

De onregelmatigheden zijn met minimaal informatieverlies onschadelijk gemaakt voor de vervolgberekening.

Ruis

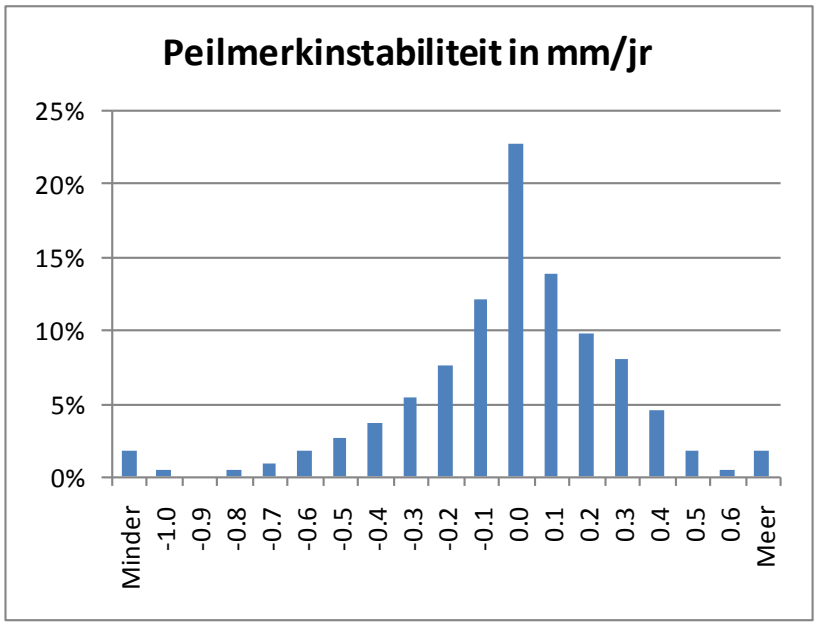
Meetruis en relatieve peilmerkinstabiliteit beïnvloeden de precisie van de berekende relatieve bodemdaling. Modelimperfecties doen dat niet. Het bodemdalingmodel speelt slecht een cosmetische rol. Het verlegt de referentie voor alleen relatieve gemeten bodemdaling zodanig dat de gemiddelde daling in het buitengebied nul is.

Ruiscomponent	Standaard deviatie ruiseffect op relatieve daling
Meetruis	$0{,}76\ \text{mm} * \sqrt{2 * \text{afstand in km}}$
Peilmerk instabiliteit	$0{,}59\ \text{mm} * (\text{periode in jaren})^{0{,}89} * \sqrt{2}$
Model imperfecties	$2{,}66\ \text{mm} * (\text{periode in jaren})^{0{,}63} * \sqrt{2 * \left(1 - e^{-(\text{afstand in m}/1368)^2}\right)}$

TABEL 1: RUISCOMPONENTEN

De metingen passen binnen de Rijkswaterstaatnorm voor meetruis in 2e orde waterpassingen. Ter beoordeling van de stabiliteit van de meetpunten is de beweging van elk individueel peilmerk vergeleken met de gemiddelde beweging van de peilmerken in de omgeving. De peilmerkinstabiliteit in noordwest Friesland is twee maal groter dan die op zandgronden, maar niet ongebruikelijk voor kleigrond. 92% van de peilmerken zit in de hoogste stabiliteitsklasse van -0,5 tot +0,5 mm per jaar (Figuur 2). Gewone peilmerken zetten zich gemiddeld gesproken sneller in de

bodem dan ondergrondse merken (NAP peilmerknummers beginnend met 000A). Dit verschil verstoort de gemeten relatieve daling tussen peilmerken van verschillende soort enigszins. Niet de absolute, maar de relatieve stabiliteit van peilmerken, waartussen gemeten wordt, klinkt immers door in de kwaliteit van de berekende bodemdaling. Stabielere, maar veel duurdere ondergrondse merken, zijn daarom van beperkte waarde voor het beoogde doel. Het kleine verschil in gemiddelde waarde en spreiding van snelheid tussen gewone en ondergrondse merken (beide minder dan 0,4 mm/jaar) kan uitsluiting van gewone peilmerken niet rechtvaardigen.



FIGUUR 2: HISTOGRAM GEMIDDELDE PEILMERKEIGEN BEWEGING 1988-2008

Ter vergelijking geeft onderstaande tabel de berekende stabiliteit van enige peilmerken, die in het (Vermilion, 2007) rapport als instabiel werden verworpen dan wel als stabiel werden aanvaard:

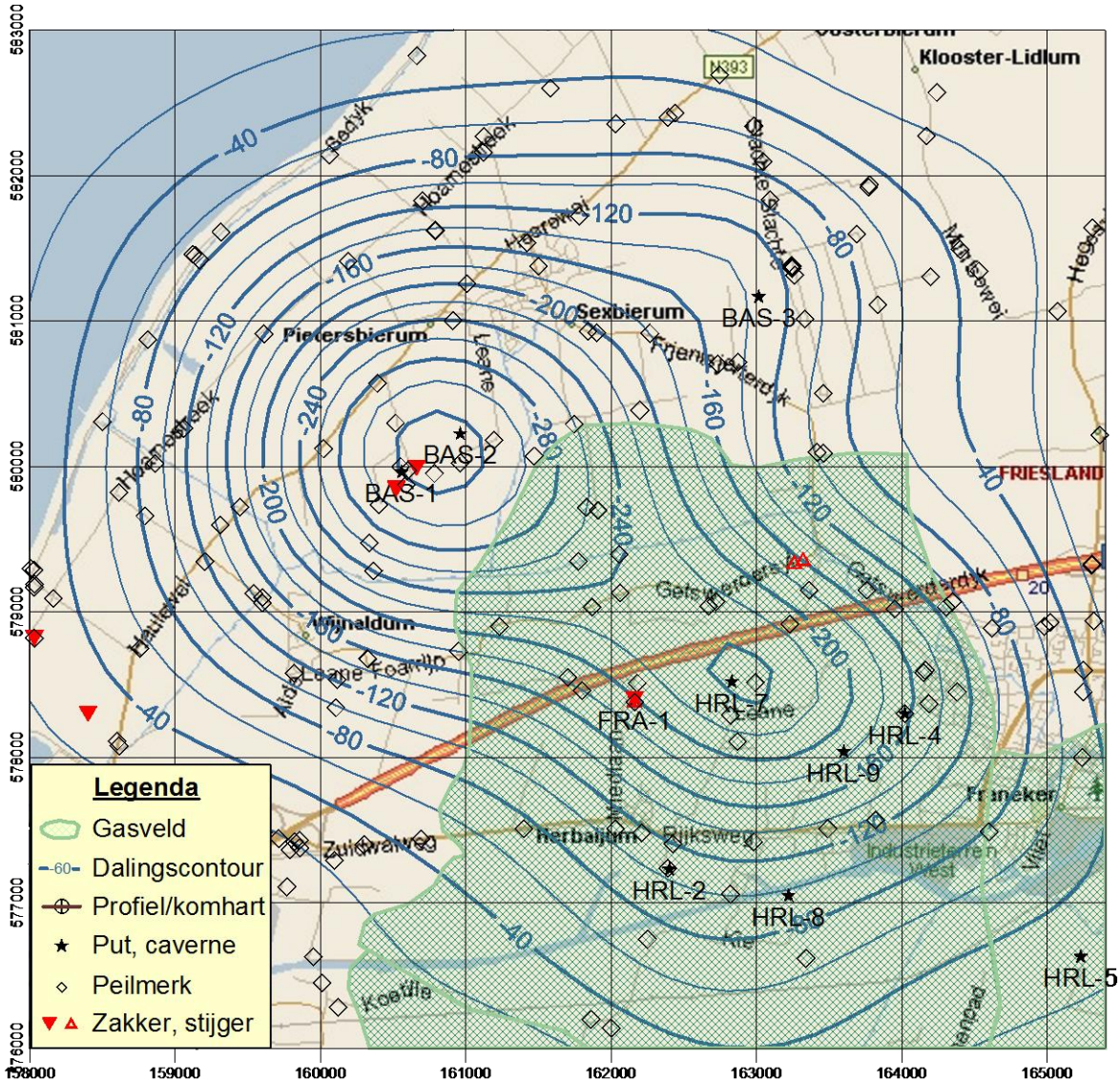
Onstabiel	Gemiddelde snelheid		Stabiel	Gemiddelde snelheid
000A2754	-0,3 mm/jr		000A2750	0,3 mm/jr
FNK00004	-0,3 mm/jr		000A2752	0,6 mm/jr
FNK00005	-0,4 mm/jr		FNK00014	-0,3 mm/jr

TABEL 2: STABILITEIT VERWORPEN/GEACCEPTEERDE MERKEN IN VERMILION ANALYSE

Geen van deze peilmerken wordt in de statistische analyse als onstabiel aangemerkt.

Totale bodemdaling

De van meetruis en peilmerkinstabiliteit gezuiverde bodemdaling in elk van de meetpunten is vervolgens verwerkt tot contourkaart (Figuur 3). Hierbij zijn de berekende karakteristieken van de modelimperfectie uit (Tabel 1) gebruikt als stuurparameters.



FIGUUR 3: TOTALE BODEMDALING, M.A.W. NETTO BODEMBEWEGING DOOR ALLE OORZAKEN TEZAMEN

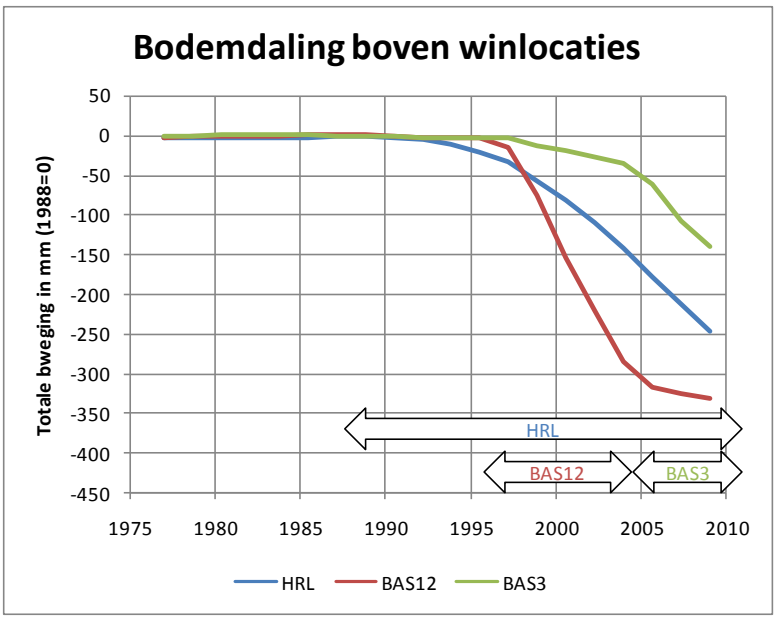
Boven het HRL gasveld (groen gearceerd) bedraagt de bodemdaling over de periode 1988-2008 maximaal 242 mm, op de zoutwinninglocaties BAS1/2 en BAS3 (ster symbolen) respectievelijk 328 mm en 135 mm. Deze bodemdaling is het gevolg van alle oorzaken tezamen.

Het volume van de bodemdaling in het gebeid van Figuur 3 bedraagt 4,9 miljoen m^3. De scheefstelling bereikt een maximum van 16,5 cm per km in Pietersbierum.

GEOMETRISCHE ONTRAFELING

Identificatie van afzonderlijke mechanismen

De ontwikkeling van de bodemdaling in de tijd op de 3 winlocaties is weergegeven in Figuur 4. De knikpunten in de ontwikkeling op de zoutwinninglocaties komen overeen met begin en einde van zoutwinningen. De ontwikkeling boven het gasveld vertoont geen scherpe knik. Zoals oorspronkelijk voorspeld, bleef de bodemdaling boven het gasveld tot 1996 beperkt. Daarna versnelde de bodemdaling onverwacht. Vóór aanvang van de gaswinning in 1988 was er geen bodemdaling van betekenis.

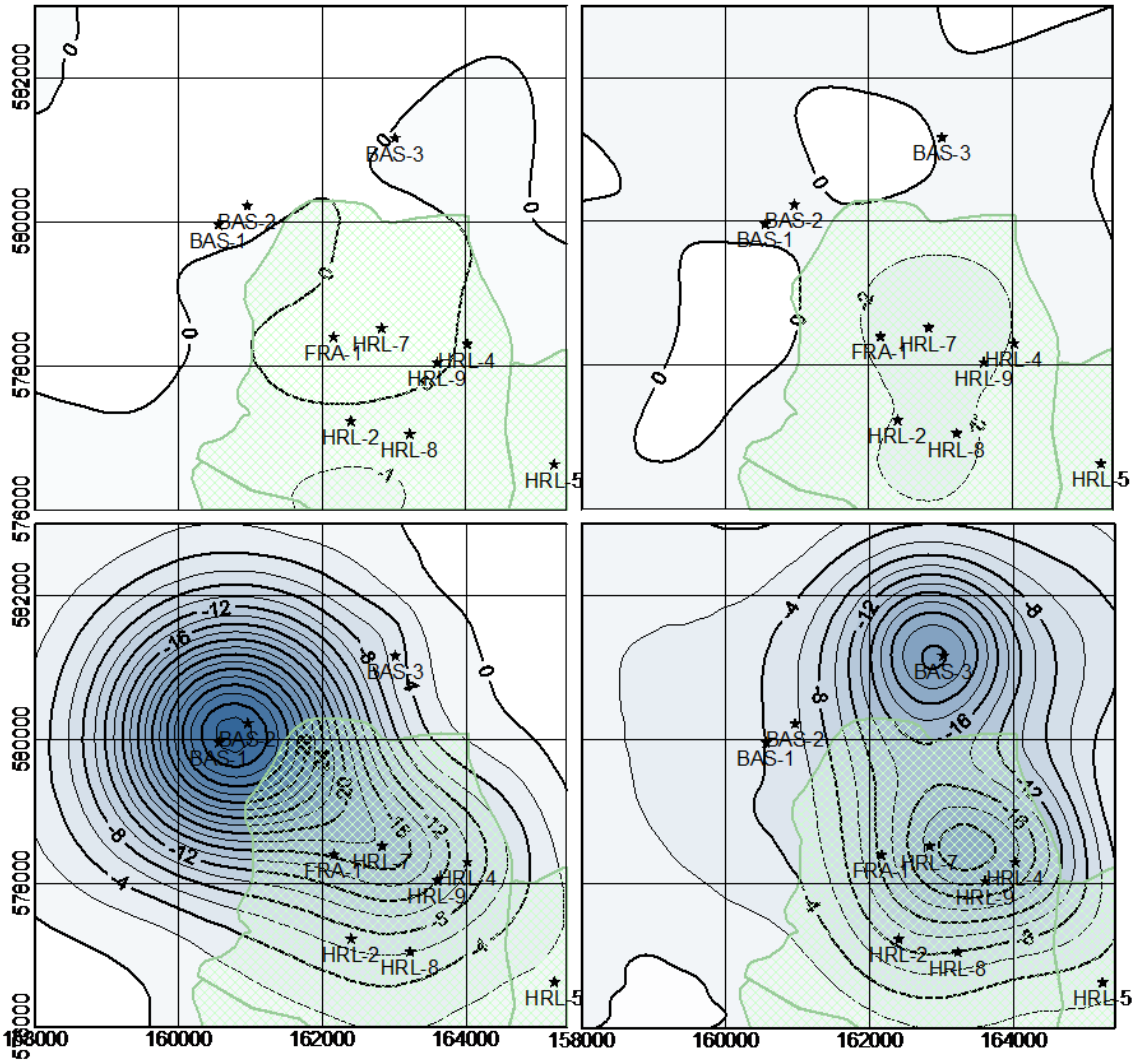


FIGUUR 4: ONTWIKKELING TOTALE BODEMDALING IN DE TIJD

Figuur 5 laat de gemiddelde bodemdalingsnelheid in noordwest Friesland zien over de periodes 1976-1988, 1988-1996, 1996-2004 en 2004-2008. Ook hier is van significante bodemdaling voor aanvang van de winningen in 1988 geen sprake. In de periode 1988-1996, tussen het begin van de gaswinning en het begin van de zoutwinning, daalt de bodem alleen met enige significantie boven het HRL gasveld. Kenners van de reservoirkarakteristieken herkennen mogelijk de slecht doorlaatbare zone midden in het noordelijke reservoirblok aan de insnoering van de 2 mm/jaar dalingscontour. In de periode 1996-2004 is sprake van twee aparte bronnen van bodemdaling: een boven de BAS1/2 cavernes en een boven het HRL gasveld. Ook het patroon voor de periode 2004-2008 toont twee aparte bodemdalingmechanismen: een boven de BAS3 caverne en een boven het HRL gasveld.

Samenvattend indiceren Figuur 4 en Figuur 5 drie afzonderlijke mechanismen: een boven het HRL gasveld in tijd gecorreleerd met de periode van gaswinning, een gecentreerd boven de BAS1/2 cavernes in tijd gecorreleerd met de periode van zoutwinning uit die BAS1/2 cavernes en tenslotte een gecentreerd boven de BAS3 caverne in tijd gecorreleerd met de periode van zoutwinning uit die BAS3 caverne.

De metingen in NW-Friesland bevatten geen aanwijzingen voor significante bodemdaling anders dan door gas- en zoutwinning.



FIGUUR 5: BODEMDALINGSNELHEID IN MM/JAAR, 1976-1988, 1988-1996, 1996-2004, 2004-2008

Oorzakelijke scheiding

Plaats, vorm en ontwikkeling van de bodemdaling ten gevolge van elk van de drie mechanismen is gekarakteriseerd door een analytische functie:

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

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

Deze functie kan zich via geschikte parameterwaardes (vgl. Tabel 3) 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 reservoirstraal/diepte verhoudingen.

De parameters van de 3 komvormen zijn simultaan bepaald door optimale aanpassing aan de som van de komdalingen op de meetpunten. Het resultaat voor de datum van laatste meting, 04-08-2008, was:

Parameter	Symbool	HRL kom	BAS1/2 kom	BAS3 kom
X coördinaat komhart	x_{mid}	163127 m	160760 m	163072 m
Y coördinaat komhart	y_{mid}	578375 m	580156 m	581473 m
Lange komstraal	a	1134 m	1218 m	784 m
Korte komstraal	b	991 m	1116 m	784 m
Kaarthoek lange komstraal	α	107°	69°	0°
Afplatting	δ	1,77	1,88	1,86
Diepte in komhart	z_{max}	220 mm	316 mm	77 mm

TABEL 3: KOMPARAMETERS BIJ LAATSTE METING

Het verschil (overal kleiner dan 18 mm) tussen de som van de komvormen en de totaal gemeten daling is ten slotte proportioneel met de absolute waarde van de samenstellende delen verdeelt over de drie geïdentificeerde mechanismen en de ongeïdentificeerde restbeweging.

Dit levert volgende beïnvloedingtabel op:

Bodembeweging bij \ ten gevolge van	Hart HRL kom	Hart BAS1/2 kom	Hart BAS3 kom
Gaswinning	-220 mm	-13 mm	-6 mm
Zoutwinning	-16 mm	- 316 mm	- 116 mm
Ongeïdentificeerde oorzaak	0 mm	0 mm	0 mm
Alle oorzaken tezamen	- 236 mm	- 329 mm	- 122 mm

TABEL 4: OORZAKELIJKE ONTRAFELING 1988-2008

Tenslotte nog enige afgeleidde kentallen van productie en bodemdaling per winning. De meting van 2008 strekt zich niet uit tot de invloedsfeer van zoutwinning uit de BAS4 caverne. De bodemdalinggegevens voor deze winning ontbreken daarom.

Parameter	HRL gaswinning	BAS1/2 zoutwinning	BAS3 zoutwinning	BAS4 zoutwinning
Productievolume	1681 Mm^3	8835 KTon	2414 KTon	1439 KTon
Productiesnelheid	52 Mm^3/jr	8 KTon/jr	216 KTon/jr	739 KTon/jr
Diepte komhart	220 mm	316 mm	77 mm	
Dalingsnelheid komhart	19 mm/jr	3 mm/jr	10 mm/jr	
Dalingsvolume	1,82 Mm^3	2,91 Mm^3	0,33 Mm^3	
Toename dalingsvolume	0,15 Mm^3/jr	0,09 Mm^3/jr	0,09 Mm^3/jr	

TABEL 5: KENTALLEN BODEMDALING 1988-2008 PER KOM

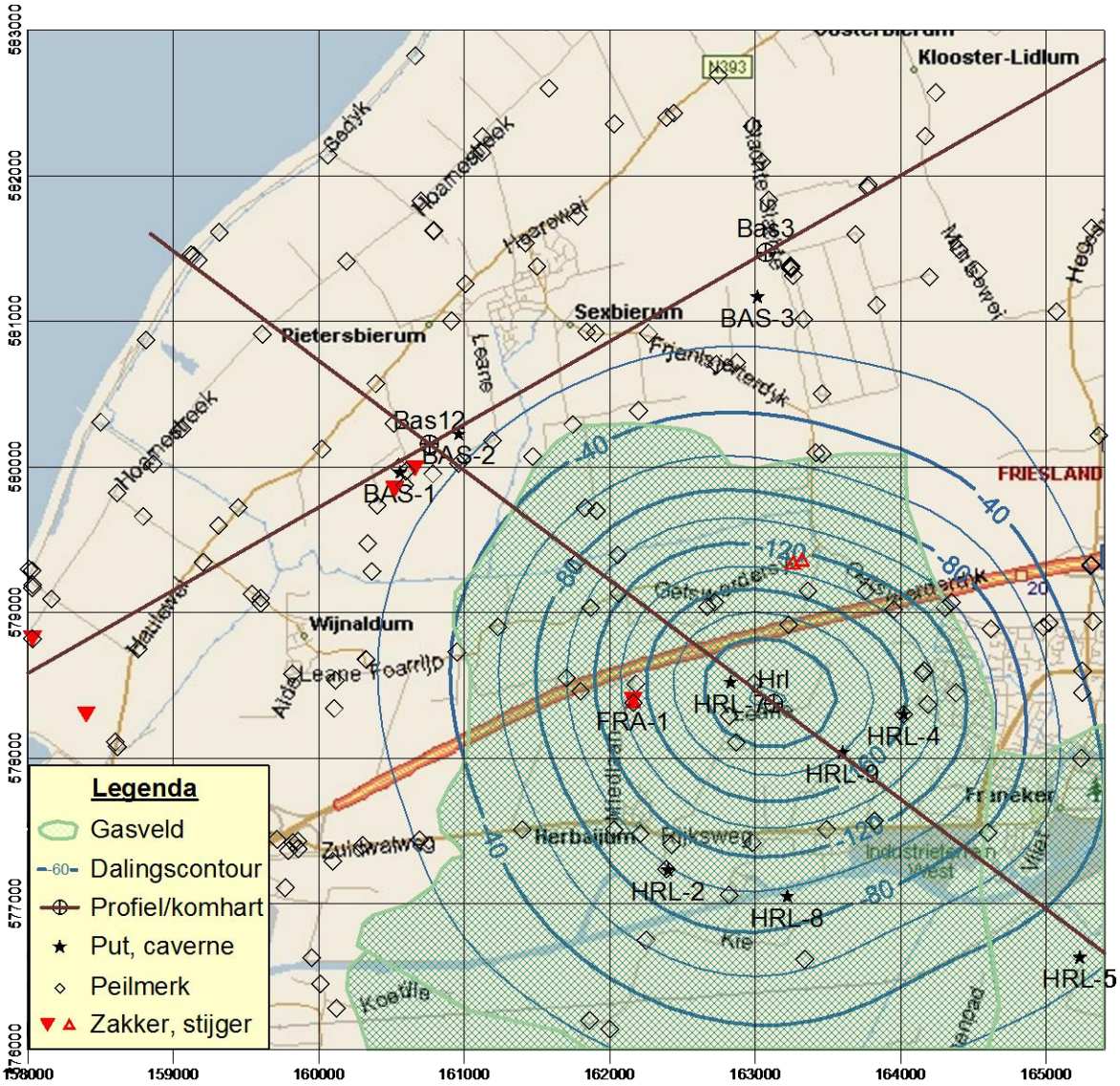
Geometrische ontrafeling naar oorzaak sluit iteratieve voorwaartse geomechanische modellering vanuit kennis van de ondergrond, als beschreven in bijlage 1 van (TCBB, 2008), geenszins uit. De resultaten van geomechanische modellering dienen echter tegenover, niet in plaats van, geometrische modellering te worden gesteld.

Zonder geometrische ontrafeling geen effectieve signalering van afwijkend dalingsgedrag door een specifieke oorzaak.

Een goed bij het gemeten dalingspatroon aansluitend, geomechanische model vormt een solide basis voor voorspelling van nog te verwachten bodemdaling. Het is echter een vergissing om hieruit te concluderen dat extrapolatie van een historisch geijkte relatie tussen productie en bodemdaling geen toegevoegde waarde heeft als toetssteen voor geomechanische prognoses.

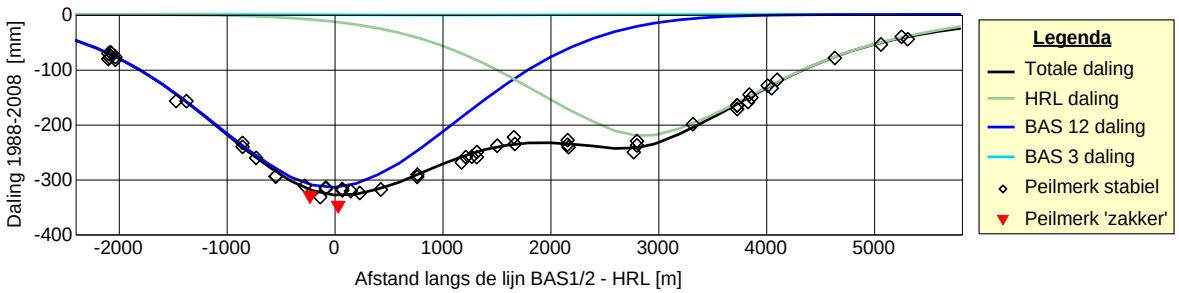
Bodemdaling door gaswinning

Figuur 6 is een contourkaart van de bodemdaling door gaswinning in mm sinds 1988.

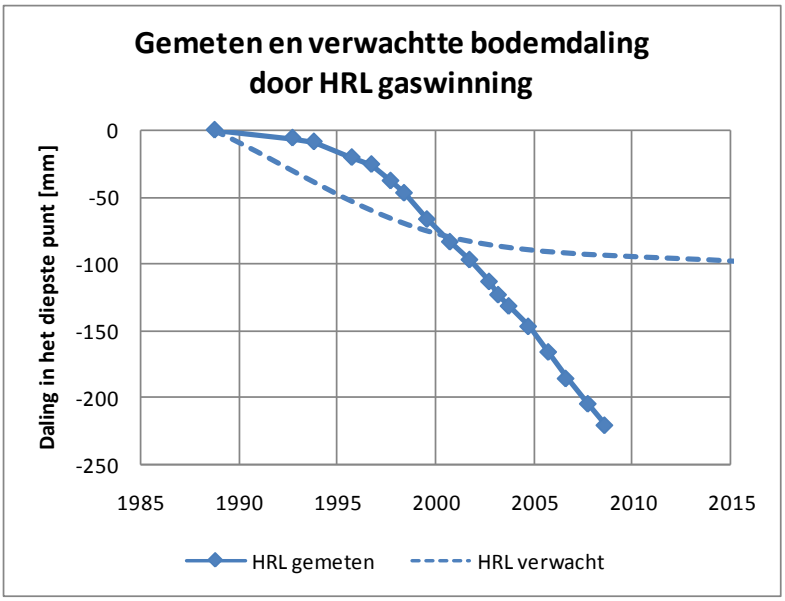


FIGUUR 6: BODEMDALING DOOR GASWINNING UIT HRL VELD 1988-2008

Figuur 7 toont de ontrafeling van de totaal gemeten bodemdaling langs een lijn (bruin in Figuur 6) door het hart van de BAS1/2 en HRL kommen (rad symbolen). De hoogteverandering van peilmerken binnen 1 km van de lijn is langs de bodemdalingcontouren op de lijn geprojecteerd.



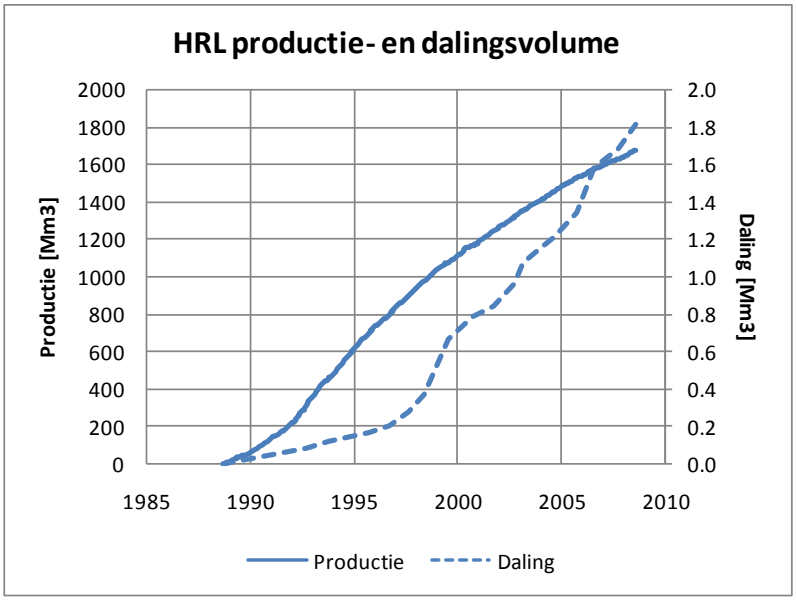
FIGUUR 7: OORZAKELIJKE ONTRAFELING LANGS DE LIJN BAS1/2-HRL



FIGUUR 8: GEMETEN EN VERWACHTTE BODEMDALING DOOR HRL GASWINNING

Aanvankelijk werd verondersteld dat de bodemdaling tussen 1988 en 2016 8 cm zou bedragen met een onzekerheidsmarge van 20%. Tot 1996 was de bodemdaling inderdaad zeer beperkt. Tussen 1993 en 2001 deden zich echter abrupte veranderingen voor in plaats, volumegroei, straal en afplatting van de bodemdalingkom. Na 2001 ontwikkelde de bodemdaling zich meer geleidelijk, zij het veel sneller dan aanvankelijk verwacht.

Zonder gedetailleerde beschouwing van de schoksgewijze geometrische ontwikkeling, geen betrouwbare verklaring voor het afwijkende HRL gedrag.



FIGUUR 9: VOLUME HRL GASPRODUCTIE EN DALING

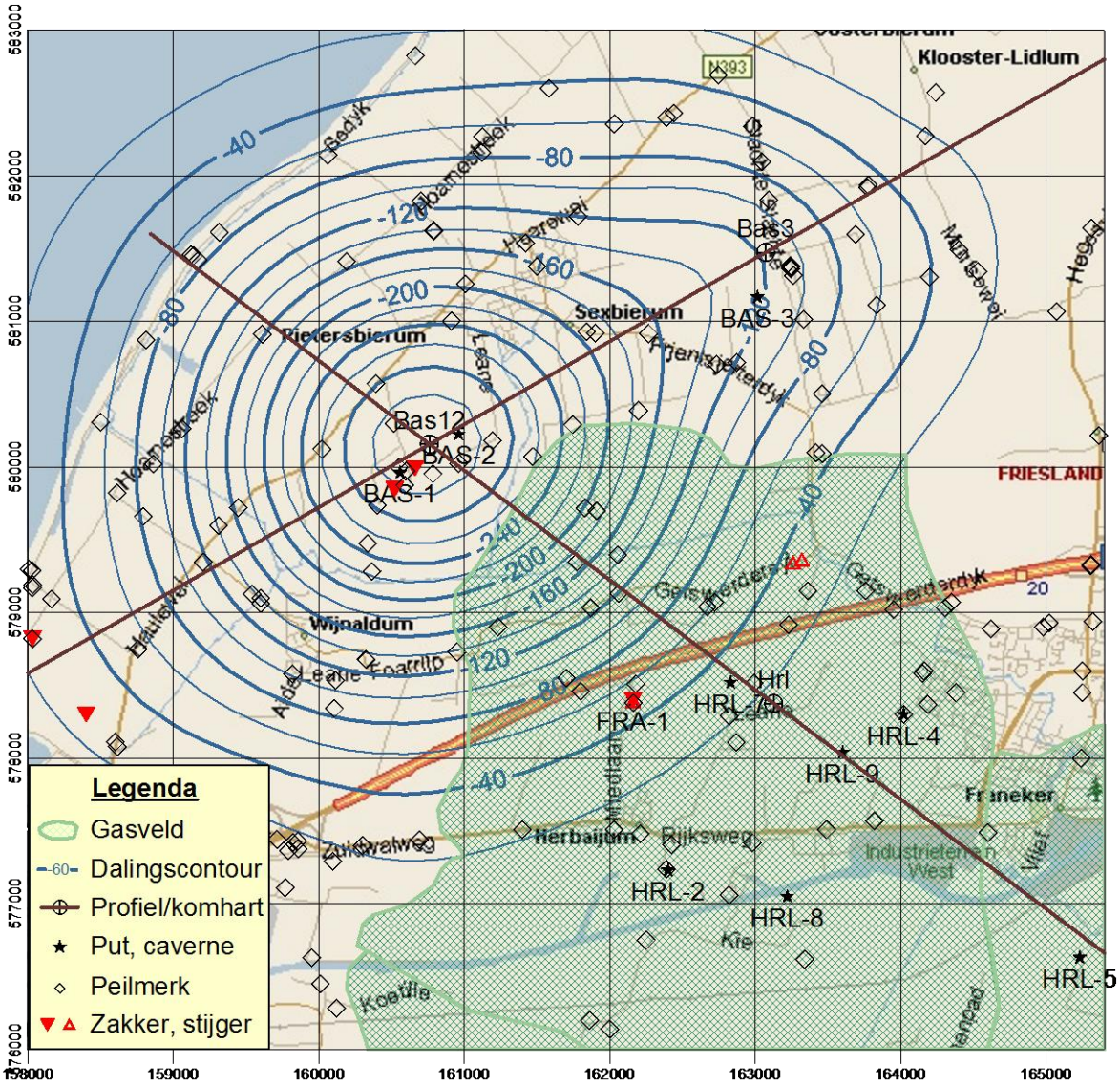
De schoksgewijze ontwikkeling van het dalingsvolume, al dan niet veroorzaakt door instorting van het kalksteenskelet, laat zich niet modelleren als kruip. De retardatie constante zou een onrealistische waarde van duizenden jaren aannemen. Van het

dalingsvolume per duizend m^3 geproduceerd gas kan daarom op dit moment alleen worden gezegd dat zij minimaal 1.08 m^3 bedraagt.

Op 15-07-2008 is op de onverwacht snelle daling boven het Harlingenveld gereageerd met stopzetting van de productie. Dit biedt een nieuwe kans om de vigerende retardatie constante te bepalen. GPS metingen (Oranjewoud, 2008b) over de eerste 3 maanden na het stil leggen van de productie hebben nog geen significante afname van de bodemdalingsnelheid te zien gegeven, een indicatie dat er nog een flinke hoeveelheid, geomechanische onverwachte bodemdaling in de pijplijn zit.

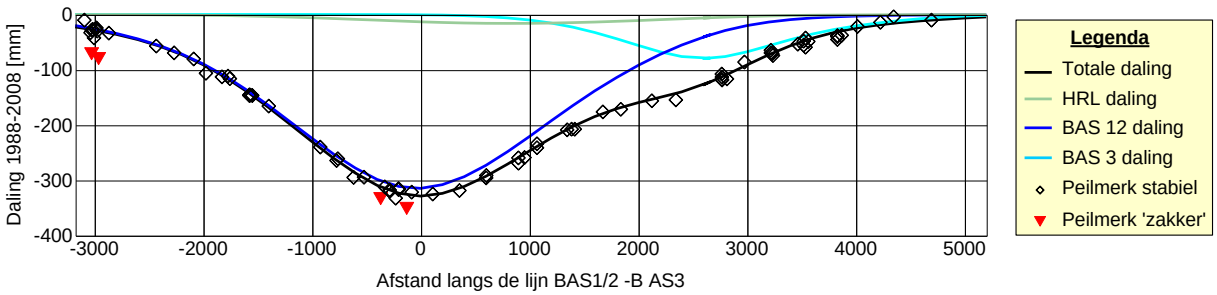
Bodemdaling door zoutwinning

Figuur 10 is een contourkaart van de bodemdaling door zoutwinning in mm.

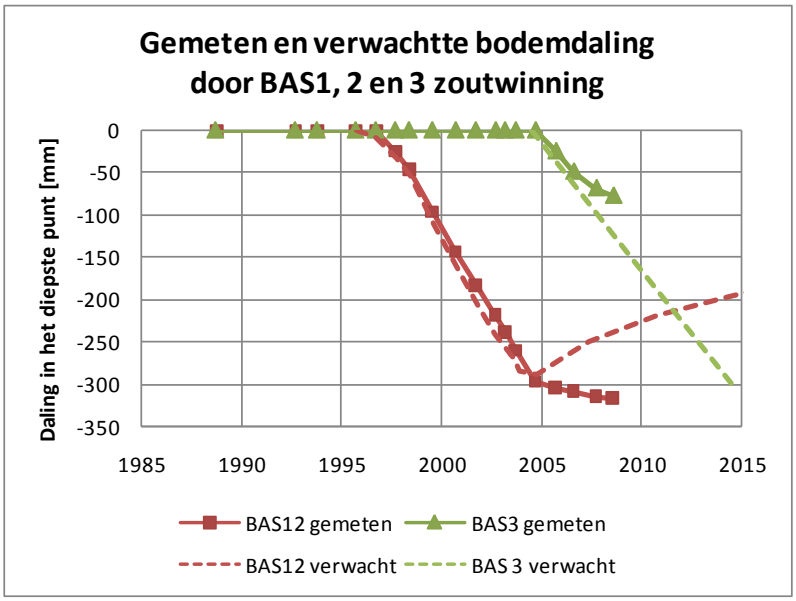


FIGUUR 10: BODEMDALING DOOR ZOUTWINNING UIT BAS1, 2 EN 3 CAVERNES 1988-2008

Figuur 11 toont de ontrafeling van de totaal gemeten bodemdaling langs een lijn (bruin in Figuur 10) door het hart van de BAS1/2 en BAS3 kommen (rad symbolen). De hoogteverandering van peilmerken binnen 1 km van de lijn is langs de bodemdalingcontouren geprojecteerd op de lijn.

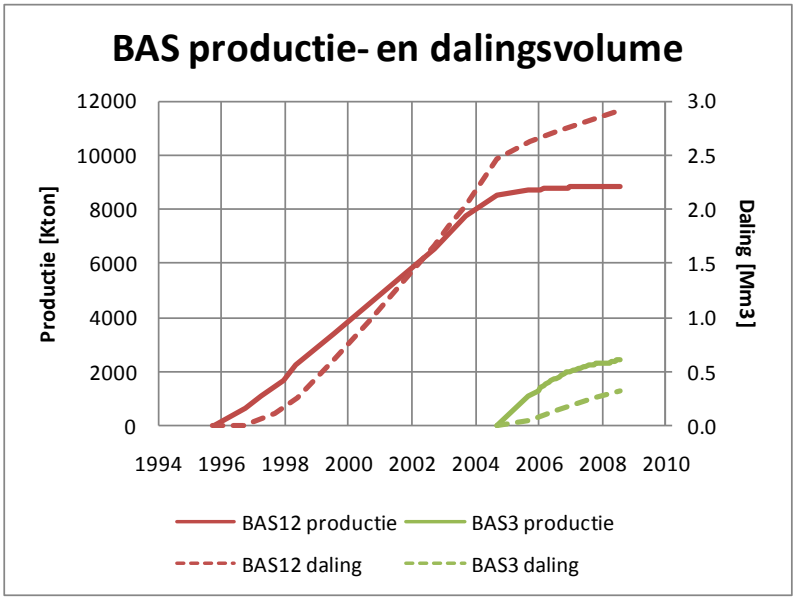


FIGUUR 11: OORZAKELIJKE ONTRAFELING LANGS DE LIJN BAS1/2-BAS3



FIGUUR 12: GEMETEN EN VERWACHTTE BODEMDALING DOOR BAS ZOUTWINNING

In 2003 werd verondersteld dat de bodem boven de BAS1/2 cavernes na stopzetting van de productie substantieel zou terugveren. Als voorspeld op grond van een integrale analyse van productiecijfers en metingen tot 2003 (Houtenbos, 2004) is dit niet gebeurd. De beide winningen, BAS1/2 en BAS3, gaan gepaard met een in tijd groeiende komstraal en een in OZO richting wandelende kom. Het eerste fenomeen houdt mogelijk verband met mobilisatie van het zout steeds verder van de caverne af, het tweede zoekt nog naar een plausibele verklaring. Ook de plaats van het hart van de BAS3 kom, 313 m ten noorden van de caverne, is nog onverklaard.



FIGUUR 13: VOLUME BAS ZOUTPRODUCTIE EN DALING

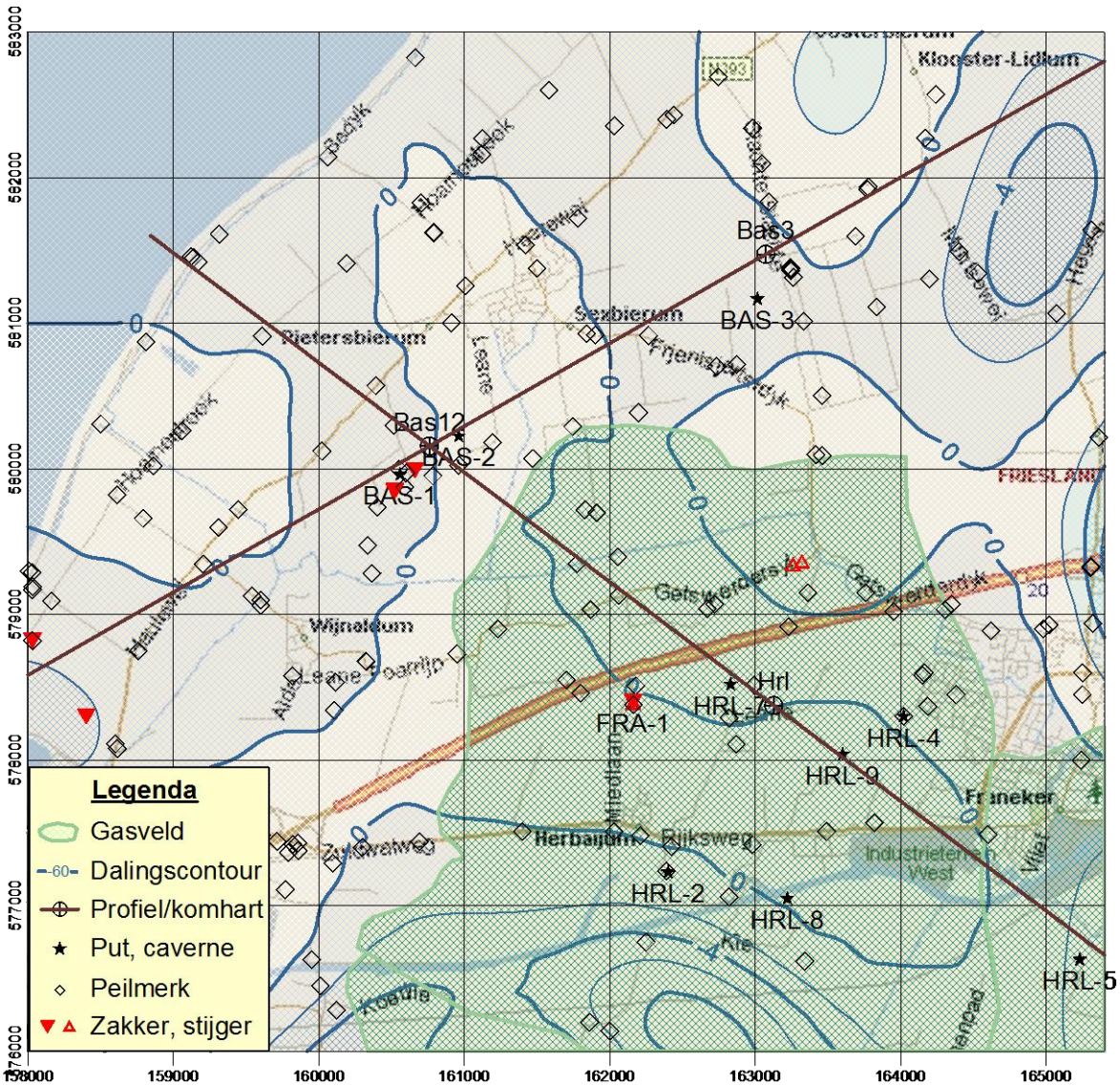
De relatie tussen productie en daling is historisch geijkt met behulp van de procedure uit (Houtenbos, 2005). Elke ton zoutproductie levert met een retardatie constante van 2,3 jaar uiteindelijk 0,349 m^3 daling op. Ook als er geen enkele productie uit de

BAS1/2 cavernes meer zal plaatsvinden, zal het bodemdalingvolume door na-ijlen nog 5% groeien van 2,91 tot 3,06 miljoen m^3.

Het getijdenstation Harlingen speelt een cruciale rol in de bepaling van zeespiegelstijging in Nederland. Eventuele uitbreiding van de zoutwinning tot de Havenmond van Harlingen zou zodanig gepositioneerd moeten worden, dat de ononderbroken meetreeks vanaf 1865 tot nu niet door menselijk ingrijpen verstoord wordt.

Ongespecificeerde bodembeweging

Figuur 14 toont de totaal gemeten bodemdaling sinds 1988 na aftrek van bodemdaling door gas- en zoutwinning.



FIGUUR 14: TOTALE DALING MIN DALING DOOR GAS EN ZOUTWINNING = ONGEINDENTIFICEERDE BODEMBEWEGING

De ongeïdentificeerde restbeweging over de periode 1988-2008 varieert tussen -9 en +7 mm. Het patroon vertoont een goede gelijkenis met dat van de beweging vóór aanvang van delfstofwinning (Figuur 5 links boven). De magnitude van de verschillen - minder dan 0,5 mm op jaar basis – weerspiegelt de kwaliteit van de scheiding naar oorzaak.

TCBB ADVIES EN DE PRAKTIJK

Inleiding

In november bracht de Technische Commissie Bodembeweging (TCBB) haar voorlopig advies voor de verwerking van hoogtemetingen uit (TCBB, 2008). Het vermogen van de TCBB procedure om incidenten, zoals die rond de bodemdaling door gaswinning bij Franeker, te voorkomen kan worden getoetst aan de hand van de voorliggende casus.

De belangen zijn groot. Winning van delfstoffen genereert aanzienlijke geldstromen naar mijnbouwondernemers en Staat. Het leidt ook tot bodemdaling. Deze daling bereikt een maximum boven het zwaartepunt van de winning en neemt af met de afstand tot dit zwaartepunt. Door bodemdaling stijgt het waterpeil relatief ten opzichte van het maaiveld. Percelen komen vaker blank te staan bij zware regenval, drainage systemen verdwijnen onder water en het draagvermogen van funderingen neemt af. Waar het draagvermogen van funderingen tot onder de bestaande belasting zakt, kan scheurvorming optreden (Verruit, 2000). Door verlaging van het polderpeil kan de schade enigszins worden beperkt, maar dat gaat dan weer ten koste van verzilting van het grondwater en verlaging van oogstopbrengst. De mijnbouwwet vereist metingen om de aansprakelijkheid voor deze gevolgen vast te kunnen stellen. De relatie in plaats en tijd tussen productie van delfstoffen en bodemdaling, afgeleid uit de metingen, bepaalt deze aansprakelijkheid. De resultaten van de afleiding blijken echter zeer gevoelig voor verschillen in de gevolgde rekenwijze. De metingen weerspiegelen de totale relatieve daling zonder onderscheid naar oorzaak. De bodemdaling per oorzaak wordt daarom in twee stappen uit metingen afgeleid: berekening van de totale daling uit de metingen en scheiding van deze gemeten totale daling in oorzakelijke componenten.

Rekenwijzen bodemdaling door delfstofwinning

Van overheidswege voorgeschreven rekenwijze

De door Staattoezicht op de Mijnen (SodM) voorgeschreven, conventionele methodiek kenmerkt zich door een simpele, transparante afleiding van totale peilmerkdaling en een zeer specialistische, weinig transparante bepaling van de bodemdaling door delfstofwinning. De berekening van de totale peilmerkdaling is kwetsbaar voor gaten in de meetpuntdekking in ruimte en tijd. In de noordwest Friesland analyse 2006 werd de peilmerkdaling boven het gasveld hierdoor 27% onderschat. De bodemdaling door delfstofwinning wordt gemodelleerd vanuit kennis van de ondergrond en vervolgens geijkt tegen de gemeten totale peilmerkdaling. Deze berekening is zeer gevoelig voor de vrijheid die het model wordt gegund om zich aan de gemeten vorming van het aardoppervlak aan te passen. Een met de fysica van de ondergrond verenigbaar en tevens perfect op de gemeten vervorming aansluitend model kan in principe altijd worden gevonden door ruimtelijke differentiatie van samendrukbaarheid parameters. De gebruiker bepaalt of deze oplossing ook wordt gekozen. De langs deze weg door de mijnbouwonderneming gevonden bodemdaling door delfstofwinning is daardoor weinig objectief. Rapportages op basis van deze rekenwijze zijn weinig betrouwbaar gebleken. Met deze rekenwijze

zal het publieke wantrouwen niet overwonnen kunnen worden. In de 2006 noordwest Friesland analyse werd de bodemdaling door gaswinning door te rigide vast te houden aan een bestaand theoretische model 37% onderschat.

Methode Houtenbos

De door Houtenbos ontwikkelde, integrale methodiek kent een zeer specialistische en daardoor weinig transparante afleiding van de totale bodemdaling en een tamelijk simpele ontrafeling van de totaal gemeten daling in bodemdaling door afzonderlijke oorzaken. De berekening van de totale bodemdaling kenmerkt zich door een objectieve scheiding van bodemdaling, peilmerkeigenbeweging en meetruis en is veel minder gevoelig voor gaten in de meetpuntdekking in ruimte en tijd. De berekening van de bodemdaling naar oorzaak is ongevoelig voor fouten in het geomechanisch model en daarmee onafhankelijk van belanghebbende mijnbouwondernemingen. In deze procedure wordt de gerapporteerde bodemdaling door delfstofwinning uitsluitend door de metingen bepaald. Vergelijking van geomechanisch gemodelleerde bodemdaling per oorzaak met de gemeten bodemdaling per oorzaak maakt scherpe detectie van onverwachte patronen van bodemdaling mogelijk en dwingt de ontwikkeling van nieuwe inzichten af ter verklaring van onverwacht gedrag van de ondergrond.

Geadviseerde rekenwijze

De TCBB adviseert scheiding van bodemdaling, peilmerkeigenbeweging en meetruis volgens de door Houtenbos ontwikkelde methodiek. De berekening van totale daling uit de metingen is daarmee belangrijk robuuster en objectiever geworden. De berekening van bodemdaling door delfstofwinning wordt echter in handen van de mijnbouwonderneming gelegd. Daarmee blijft de scheiding naar oorzaak – in het bijzonder die tussen bodemdaling door delfstofwinning en bodemdaling door andere oorzaken – in handen van de belanghebbende mijnbouwonderneming en zijn incidenten als die rond de gaswinning bij Franeker geenszins uitgesloten. In deze procedure wordt de theoretisch gemodelleerde bodemdaling, zonder 'autonome' daling (daling door oorzaken anders dan delfstofwinning), in absolute zin geijkt tegen de alleen relatief gemeten totale daling inclusief de 'autonome' daling. Deze ijking is daardoor onzuiver. De resulterende bodemdaling door delfstofwinning volgt de theoretisch modellering nauwkeurig, maar staat in een tamelijk los verband met de gemeten, werkelijke vervorming van het aardoppervlak.

Kanttekeningen

Beoordelingskader

De TCBB beoordeelt de verschillende rekenwijzen niet op de eerste plaats op hun vermogen om bodemdaling per oorzaak precies en betrouwbaar te berekenen. De onverwachte versnelling van de bodemdaling door gaswinning bij Franeker, het uitblijven van de voorspelde '*rebound*' bij de Barradeel zoutwinning en het onverwacht sterke na-ijlen van de bodemdaling op Ameland, hebben de nu door de TCBB geadviseerde geomechanische ontrafeling sterk in diskrediet gebracht. In elk van deze gevallen was het de geometrische ontrafeling die de fouten in de geomechanische modellering vroegtijdig aan het licht bracht.

De TCBB hecht daarentegen onevenredig veel waarde aan de transparantie van de rekenwijze en de geschiktheid voor gebruikers zonder specialistische kennis. Op deze punten scoren de voor ontrafeling noodzakelijke geometrische en geomechanische modellering beiden slecht. Bij gebrek aan voldoende eigen deskundigheid zal voor de beide typen modellering externe deskundigheid moeten worden ingehuurd. Betrouwbaarheid en objectiviteit dienen voor transparantie te gaan.

De TCBB zet vraagtekens bij een aantal methodische aspecten en baseert delen van het oordeel op vermoedens. Voor een juiste beoordeling van de rekenwijzen en een solide advies is beantwoording van nog openstaande vragen en experimentele verificatie van vermoede eigenschappen van rekenwijzen nodig.

Gemeten versus gemodelleerde daling

Het primaire doel van de metingen is vaststelling van aansprakelijkheden. Hiervoor dient een relatie tussen productie en bodemdaling te worden aangetoond. Door vergelijking van plaats en tijd van productie met plaats en tijd van de gemeten, werkelijk opgetreden bodemdaling kan het oorzakelijke verband objectief worden vastgesteld. Geomechanische modellering geeft inzicht in de precieze manier waarop productie tot bodemdaling leidt, maar voegt in kwantitatieve zin niets toe aan de gemeten relatie tussen productie en werkelijk opgetreden bodemdaling. Deze modellering kan de trefzekerheid van voorspellingen verhogen, maar is niet relevant voor de vaststelling van aansprakelijkheden. Verdringing van de werkelijke gemeten daling door de theoretisch gemodelleerde daling heeft geleid tot de miskenning van de onverwacht snelle bodemdaling boven het gasveld bij Franeker.

Peilmerkstabiliteit

Metingen hebben een relatief karakter. Het verschil in daling tussen twee punten is meetbaar, de daling van een afzonderlijk punt niet. De nauwkeurigheid van de berekende relatieve bodemdaling is daarom niet afhankelijk van de absolute stabiliteit van individuele peilmerken, maar van de relatieve stabiliteit van peilmerken ten opzichte van elkaar. De geadviseerde bijplaatsing van dure, stabiele, op het Pleistoceen gefundeerde, peilmerken in een netwerk van peilmerken met gemiddelde stabiliteit, sorteert dan ook nauwelijks effect. Beter is het de peilmerkdichtheid significant te verhogen door bijplaatsing van goedkope, onbelaste schroefankers. De meetpunten controleren elkaars stabiliteit. Middeling over een groter aantal peilmerken verhoogt de precisie en de betrouwbaarheid van de berekende bodemdaling. Het uitzonderlijk hoge percentage ondergrondse, op het Pleistoceen gefundeerde, peilmerken boven en rond het gasveld bij Franeker heeft de miskenning van de onverwacht snelle bodemdaling niet kunnen voorkomen.

Correlatie, interpolatie en extrapolatie

Bodemdaling door (diepe) delfstofwinning verloopt zeer geleidelijk in ruimte en tijd. Deze geleidelijkheid vormt de grondslag voor de detectie van onregelmatigheden in de metingen en in het gedrag van individuele peilmerken, die door de TCBB is omarmd. De TCBB wijst daarentegen constructie van contourkaarten van de bodemdaling op dezelfde grondslag af. Ook extrapolatie van een geijkte relatie tussen productie en bodemdaling naar de toekomst ter controle van een geomechanische

extrapolatie vindt geen genade bij de TCBB. Om aan de vraag naar praktisch bruikbare geodetische analyses van goede kwaliteit te kunnen voldoen zullen deze technieken desondanks ook in de toekomst gebruikt moeten worden.

Al in 2004 gaf een analyse, die gebruik maakt van de geleidelijkheid van bodemdaling in ruimte en tijd, signalen af dat de daling boven het gasveld bij Franeker rond 1996 onverwachts versnelde. Afwijzing van de gevolgde methodiek resulteerde in onnodig late erkenning van het afwijkende gedrag.

Rechtsposities

Aanvankelijk werd bij de vergunning om gas te winnen uit het Harlingenveld uitgegaan van een verwachte daling van 8 cm met een onzekerheidsmarge van 20%. Oplopende bodemdaling door gaswinning, tot 22 cm nu, heeft de grondslag voor verlening van de vergunning ondergraven, maar heeft niet geleid tot intrekking daarvan. Het lijkt nodig te optimistische prognoses ter verkrijging van een vergunning te ontmoedigen en het risico van onjuiste prognoses ondubbelzinnig bij de mijnbouwonderneming te leggen.

Bij de scheiding van bodemdaling naar oorzaak zijn naast de belangen van verschillende mijnbouwondernemers ook die van waterschappen en individuele burgers in het geding. De TCBB beperkt zich bij haar oproep tot nadere regelgeving t.a.v. de scheiding van aansprakelijkheden bij overlappende bodemdaling ten onrechte tot bodemdaling door verschillende delfstofwinningen. Ook waar bodemdaling door 'autonome' oorzaken die door delfstofwinning overlapt is er behoefte aan nadere regelgeving. Zodra 'autonome' daling in het spel is, is de mijnbouwonderneming niet meer de aangewezen partij om een objectieve scheiding van aansprakelijkheden aan te brengen.

Het meetregister (Oranjewoud, 2008a) is openbaar, maar bevat geen antwoord op de vraag van waterschappen en burgers, wanneer tegen wie op welke gronden in het geweer te komen ter verdediging van mogelijk aangetaste belangen. De geomechanische relatie tussen delfstofwinning en schade is bovendien zo complex en omgeven met dermate grote onzekerheden dat deze zelfs met de meest uitzonderlijke combinatie van juridische en technische deskundigheid niet wettig en overtuigend te bewijzen is. Het vertrouwen van burgers in de onafhankelijkheid van geschillencommissies op het terrein van delfstofwinning is niet groot. De drempel naar de door de TCBB geadviseerde geschillencommissie is voor de gedupeerde leek dan ook nagenoeg onneembaar. Eenmaal aangeland bij de geschillencommissie wordt de kans om een onjuiste oorzakelijk scheiding met succes aan te vechten tot nul gereduceerd door de sterke onbalans in informatieposities. De bijzonder grote onzekerheden in de geomechanische scheiding worden veelal als bedrijfsvertrouwelijk aangemerkt. Bij een dergelijk onbalans in rechtsposities past omkering van de bewijslast.

Het relatieve karakter van metingen

Misvattingen omtrent de aard van geodetische metingen trekken een zware wissel op de kwaliteit van geomechanische advisering. Uit de metingen kan worden afgeleid hoeveel een punt daalt ten opzichte van andere punten, niet hoeveel deze daalt in

absolute zin. De misvatting dat daling van meetpunten in absolute zin wordt gemeten, is diep geworteld en wijd verspreid in de geomechanische gemeenschap.

Op grond van deze misvatting wordt het geomechanische model ten onrechte veelal geijkt door vergelijking in absolute zin van de theoretische daling op individuele punten met de uit metingen afgeleide daling. Voor een zuivere ijking dienen alleen verschillen in daling tussen punten met elkaar te worden vergeleken.

Dezelfde misvatting ligt aan de basis van de veronderstelling dat bodemdaling door delfstofwinning niet meetbaar is tegen een achtergrond van veel sterkere bodemdaling door andere oorzaken (Dronkert, 2008). De meetbaarheid van een bodemdalingpatroon wordt bepaald door de mate van ruimtelijke variatie in bodemdaling in mm/km/jaar, niet door de absolute mate van daling in mm/jaar. De meting van een langzame komvormige bodemdaling door delfstofwinning ondervindt geen enkele hinder van een sterke, maar homogene autonome bodemdaling over het hele gebied.

De TCBB erkent het relatieve karakter van de metingen, maar ontmoedigt ingesleten rekenwijzen in strijd daarmee onvoldoende.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Conclusies

1. Totale daling
    1. Boven de zoutwinning ten zuiden van Sexbierum is de bodem 33 cm gedaald, boven die ten oosten van Sexbierum 13,5 cm.
    2. De bodemdaling boven het gasveld ten westen van Franeker is opgelopen tot 24 cm.
    3. De scheefstelling bereikt een maximum van 16,5 cm per km bij Pietersbierum.
    4. Het volume van de bodemdaling in noordwest Friesland sinds het begin van de eerste winning in 1988 is 4,9 miljoen m3.
2. Bodemdaling naar oorzaak
    1. De metingen geven geen aanwijzingen voor bodemdaling door oorzaken anders dan gas- en zoutwinning.
    2. Zoutwinning uit de BAS1 en 2 putten veroorzaakte 32 cm bodemdaling in de Rietpolder ten zuiden van Sexbierum. Na 2004 is de winning uit deze putten minimaal geweest. De dalingsnelheid bedraagt nog maar 3 mm per jaar. Het volume van deze dalingcomponent neemt desondanks nog toe met 90.000 m^3 per jaar.
    3. Bodemdaling door zoutwinning uit de BAS3 put bedraagt 8 cm ten oosten van Sexbierum. Deze neemt toe met 10 mm per jaar, het dalingsvolume met 90.000 m^3 per jaar.
    4. Gaswinning uit het Harlingen gasveld veroorzaakte 22 cm bodemdaling ten westen van Franeker. De dalingsnelheid bedraagt 19 mm per jaar. GPS metingen hebben nog geen afname van deze snelheid laten na het stilleggen van de productie in juli 2008. Het bodemdalingvolume groeit met 150.000 m3 per jaar. In de periode 1993-2001 deden zich enkele onregelmatigheden in de ontwikkeling voor, die mogelijk indicatief zijn voor het mechanisme achter de onverwacht snelle daling na 1996. Door de onregelmatigheden kan niet worden bepaald welk percentage van de daling zich pas na verloop van tijd openbaart.
3. TCBB advies versus praktijk
    1. Te optimistische prognoses met te kleine onzekerheidsmarges in winningplannen ondergraven de grondslag voor verlening van vergunningen en werken sluipende oprekking van vergunningsvoorwaarden in de hand. Het risico van onjuiste prognoses dient ondubbelzinnig bij de mijnbouwonderneming te worden gelegd.
    2. Niet een zwak netwerk maar te rigide vasthouden aan een theoretisch model lag aan de wortel van het Franeker incident. Bij de scheiding van bodemdaling naar oorzaak staan de belangen van mijnbouwondernemingen en ingezeten tegenover elkaar. Deze dient door een onafhankelijke organisatie met voldoende specialistische deskundigheid te worden aangebracht.
    3. Het meetregister in de huidige vorm voorziet niet in de maatschappelijke behoefte. Potentieel gedupeerden dienen middels een informatieplicht op

de hoogte te worden gebracht wie, waar, hoeveel bodemdaling heeft veroorzaakt.

4. Voor een effectieve en tijdige signalering van afwijkend dalingsgedrag dient het theoretisch model tegenover, niet in plaats van het gemeten model te worden gesteld.
5. Het kennismonopolie van de mijnbouwonderneming t.a.v. onzekerheden in het oorzakelijke proces maakt succesvol beroep en bezwaar nagenoeg onmogelijk. De rechtpositie van potentieel benadeelde lokale overheden en ingezetenen dient verbeterd te worden.
6. Misvattingen omtrent de aard van geodetische metingen trekken een zware wissel op de kwaliteit van geomechanische advisering.
7. De TCBB heeft een gestagneerde discussie weer losgetrokken. De adviezen zijn echter nog niet voldoende ver uitgewerkt voor onmiddellijke implementatie. Een voorafgaande, draagvlak creërende dialoog tussen uitvoerende instanties kan de kans op succesvolle implementatie belangrijk verhogen.

Aanbevelingen

1. Betrek de details van de ongelijkmatige geometrische ontwikkeling van de bodemdaling boven het Harlingen gasveld bij de probleemanalyse van de onverwacht snelle daling ten westen van Franeker.
2. Vorm, al dan niet binnen een bestaande organisatie, een kenniscentrum voor onafhankelijke geometrische bodemdalinganalyse.
3. Monitor effecten van delfstofwinning volgens onderstaand stappenplan:
    1. De mijnbouwonderneming voorspelt en publiceert de verwachte ontwikkeling van de bodemdaling in ruimte en tijd voorzien van historisch geijkte onzekerheidsmarges. Deze stap richt zich op het ontwerp van schadebeperkende maatregelen.
    2. Een onafhankelijk instituut onderzoekt effecten, als overstromingsgevaar, vernatting, verzilting, scheurvorming en aantasting van natuurwaarden, bepaalt eenduidig meetbare maatgevende parameters en stelt limieten vast waaronder financiële en technische compensatie aanvaardbaar is en waarboven delfstofwinning wordt gestaakt. Deze indicatoren richten zich op schadebeperking, niet op individuele oorzaken.
    3. EZ neemt effectlimieten zonder onzekerheidsmarges op in de winningvergunning. Ter ontmoediging van te optimistische voorspellingen dient voortzetting van de winning na limietoverschrijding alleen te worden toegestaan na aanvraag en verlening van een nieuwe vergunning.
    4. SodM stelt een meetplan vast, gericht op het volgen van bovengenoemde indicatoren en tijdige detectie van afwijkend gedrag.
    5. Een onafhankelijk instituut meet volgens het meetplan, berekent van meetruis en meetpunteigen beweging gezuiverde bodemdaling, scheidt de bodemdaling geometrisch naar oorzaak en publiceert deze naar oorzaak gescheiden gemeten resultaten. Deze stap richt zich op scheiding van aansprakelijkheden en informatie van belanghebbenden.
    6. De mijnbouwonderneming confronteert de relatieve daling uit het theoretisch model met die uit het betreffende geometrisch gescheiden deel van de totaal gemeten relatieve daling, past zo nodig de voorspelling aan en publiceert de wijzigingen.
4. Verbeter de rechtpositie van potentieel benadeelde lokale overheden en ingezetenen door middel van een gerichte informatieplicht en omkering van de extreem specialistische bewijslast.

GECITEERDE WERKEN

Dronkert, H. (2008). *Bodemdalingsrapport: Effecten van olie- en gasontrekking bij Ottoland.* Fugro Robertson BV.

Frisia Zout B.V. (2007). *Analysis of Levelling Survey September 2006 v3.*

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. (2004). *e-mail verkeer Oranjewoud/SodM/TNO okt 2004 .*

Houtenbos, A. (2005). *Subsidence and gas production: an empirical relation.*

Oranjewoud. (2008a). *Meetregister bij het meetplan Leeuwarden.* www.nlog.nl.

Oranjewoud. (2008b). *Speadsheet Graphs: Bodemdaling Leeuwarden West GPS station HRL4 & 7.* www.nlog.nl.

Pollmann, H. (1984). *Markscheiderische Probleme bei der Bearbeitung von Ölkaverne.* Das Markscheidewesen 91, nr 2, pp. 375-382.

TCBB. (2008). *Van Meting naar Daling.* Technische Commissie Bodembeweging, Den Haag. www.tcbb.nl.

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.

Vermilion. (2007). *Subsidence Study - Harlingen Upper Cretaceous (Chalk) Reservoir.* Vermilion Oil & Gas Netherlands BV.

Verruit, P. A. (2000). *Schade bij gelijkmatige daling.* Geotechniek, januari 2000, pp. 15-18.