

**VERMILION
ENERGY**



Vermilion Energy Netherlands B.V.

**Bodemdaling Statusrapport 2018 - Drenthe
Overijssel Friesland**

Versie 1.0

16-Jul-18

Samenvatting

In 2017 en begin 2018 zijn voor Vermilion bodemdalingmetingen uitgevoerd in Friesland, West-Drenthe en Noord-Overijssel, om de bodemdaling door gaswinning uit de voorkomens Zuidwal, Harlingen-101, Harlingen-Bovenkrijt, Oldelamer, Noordwolde, Weststellingwerf, Vinkega, De Hoeve, Nijensleek, Eesveen, Diever en Geesbrug te monitoren.

De GPS meting in Zuidwal geeft minder daling te zien dan verwacht. Omdat het verschil vergeleken met de meetnauwkeurigheid nog niet groot genoeg geacht wordt, is de voorspelling niet aangepast. Bij Harlingen-101 is nauwelijks nog bodemdaling gezien, in overeenstemming met het feit dat winning al ruim 10 jaar geleden gestopt is. De permanente GPS metingen boven Harlingen-Bovenkrijt laten een daling zien in overeenstemming met de modellen. De waterpassing van Oldelamer gaf een daling vergelijkbaar met de voorspellingen, al was de komvorm niet duidelijk te zien. Bij Noordwolde en De Hoeve is de bodemdaling niet eenduidig waarneembaar. Dat geldt ook voor Weststellingwerf, waar de winning ruim 10 jaar geleden gestopt is. Voor Eesveen en Diever was de meting te kort na aanvang van de winning om eenduidig bodemdaling waar te nemen. De diepte van de Vinkega dalingskom is volgens verwachting. Boven Nijensleek (productie beëindigd in 2006) is de daling nu samengesteld met die van Vinkega. Bij Geesbrug gaf de GPS meting geen significante daling, minder dan verwacht.

De vorm van het depletiegebied van Vinkega is aangepast naar aanleiding van de metingen. Boven Diever is, ondanks de overeenkomst met de voorspellingen, als voorzorgsmaatregel de worst case verwachting bijgesteld vanwege vorm-onzekerheid. Voor de andere gemeten voorkomens zijn de voorspellingen niet significant aangepast.

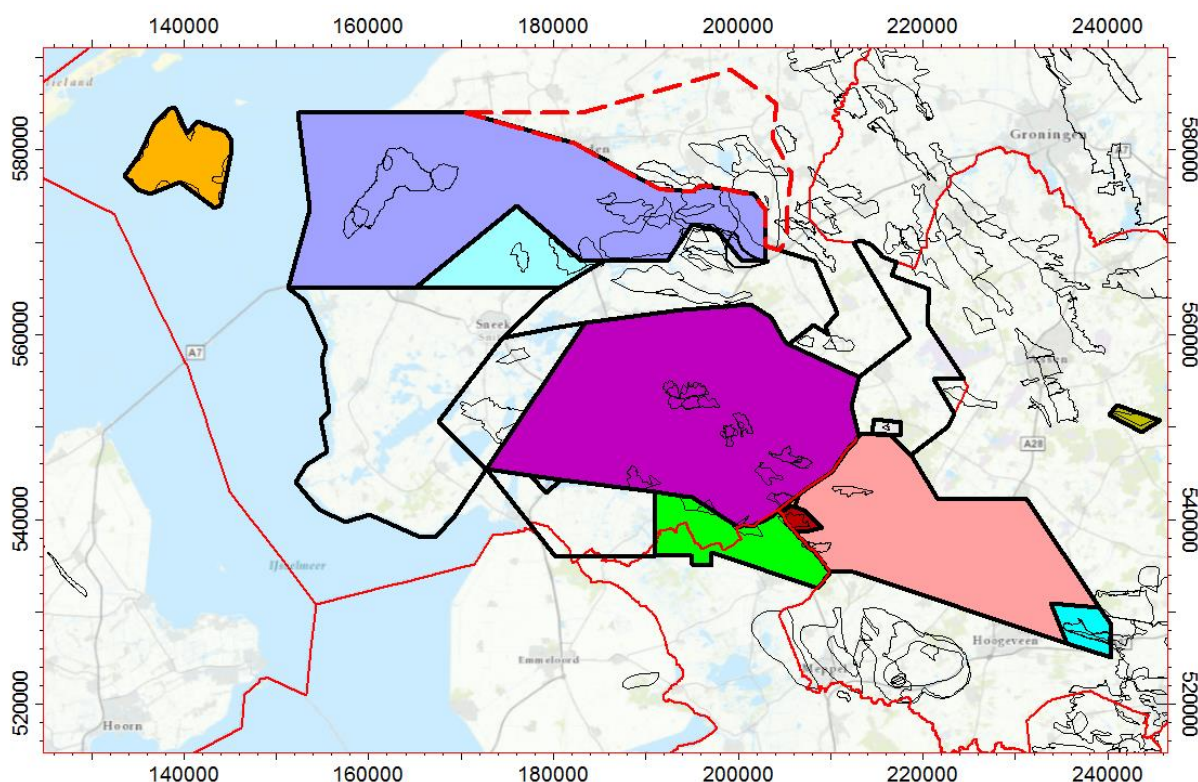
Een volledige kaart en een tabel van de bijdragen van individuele voorkomens worden in dit rapport gegeven.

Inhoud

Samenvatting	2
1 Inleiding	5
2 Achtergrond	6
2.1 Hoe wordt bodemdaling veroorzaakt?	6
2.1.1 Gaswinning.....	6
2.1.2 De oorzaken van bodemdaling	6
2.1.3 Autonome bodemdaling	7
2.2 Hoe wordt bodemdaling gemeten?	8
2.2.1 Peilmerken & meetnet	8
2.2.2 Meetmethoden	11
2.2.3 GPS metingen	11
2.2.4 InSAR	13
2.3 Meetplan & Winningsplan	14
2.3.1 Rijkswaterstaat	15
2.3.2 NLOG	15
2.4 Modellerings bodemdaling	15
2.4.1 Basismodellerings	15
2.4.2 Onzekerheden	17
2.4.3 Meer gedetailleerdere modellerings.....	19
2.5 Effecten bodemdaling	19
2.5.1 Schade aan bouwwerken	19
2.5.2 Waterpeil	19
2.5.3 Schadeafhandeling	19
2.5.4 Zuidwal	20
3 Uitgevoerde metingen & resultaten.....	21
3.1 Overzicht uitgevoerde metingen in 2017	22
3.2 Overzicht huidige en toekomstige bodemdaling	22
3.3 Overzicht geplande metingen	26
4 Verklarende woordenlijst.....	27
5 Referenties	29
5.1 Algemeen	29
5.2 Zuidwal	29
5.3 Leeuwarden-West, Harlingen-101	29
5.4 Leeuwarden-Oost/Oosterend	30
5.5 Langezwaag	30
5.6 Oldelamer	30
5.7 De Blesse, Blesdijke, Sonnega-Weststellingwerf	30
5.8 Noordwolde, Weststellingwerf, Vinkega, De Hoeve, Nijensleek en Eesveen, Diever	30
5.9 Grolloo	30
5.10 Geesbrug.....	30

6	Bijlage: Gebruik van data uit NAP-Info	31
7	Bijlage: Autonome bodemdaling	32
8	Bijlage: Overzicht modelleringsparameters	33
9	Bijlage: Meetplan 'Zuidwal'	34
10	Bijlage: Meetplan 'Leeuwarden-West'	37
11	Bijlage: Meetplan 'Harlingen-101/Kimswerd'	42
12	Bijlage: Meetplan 'Leeuwarden-Oost/Oosterend'	44
13	Bijlage: Meetplan 'Langezwaag'	49
14	Bijlage: Meetplan 'Oldelamer'	50
15	Bijlage: Meetplannen 'Sonnega-Weststellingwerf', 'Blesdijke' en 'De Blesse'	52
16	Bijlage: Meetplannen 'Diever-Nijensleek-Eesveen' en 'Noordwolde-Weststellingwerf-Vinkega-De Hoeve'	54
17	Bijlage: Meetplan 'Grolloo'	62
18	Bijlage: Meetplan 'Geesbrug'	63

1 Inleiding



Figuur 1-1 Vermilion's concessiegebieden in Friesland, Overijssel en Drenthe. Recent heeft Vermilion een deel van de vergunning Tietjerksteradeel van NAM overgenomen (rood gestippeld). Deze overname vond plaats na de periode waarop dit rapport betrekking heeft.

Vermilion Energy Netherlands B.V. (VEN) wint in Nederland aardgas uit de diepe ondergrond, met dieptes variërend tussen 1,5 en 3,5 kilometer. De winning vindt plaats vanuit een aantal locaties verspreid over Nederland. Deze rapportage betreft de locaties in Drenthe, Overijssel en Friesland. In Figuur 1-1. zijn de concessies en voorkomens in Friesland, Overijssel en Drenthe afgebeeld.

De winning van aardgas uit een gasreservoir zorgt voor een drukvermindering in de poriën van het gesteente. Deze drukvermindering zorgt ervoor dat het reservoir enigszins wordt samengedrukt onder het gewicht van de bovenliggende lagen. Die samendrukking wordt *compactie* genoemd. De compactie in een reservoir is aan het aardoppervlak terug te zien in een bodemdalingssom.

Omdat de bodemdaling gevolgen kan hebben, bijvoorbeeld voor de waterhuishouding, zijn mijnbouwbedrijven, zoals VEN, verplicht om in winningsplannen te laten zien hoeveel bodemdaling ze verwachten. Ook zijn ze verplicht om de bodemdaling in de gaten te houden. Dat gebeurt door middel van bodemdalingmetingen. Die metingen moeten aan regels voldoen, zowel landmeetkundig, als in relatie tot de mijnbouwoperatie (in het geval van Vermilion dus gaswinning). De metingen worden gecontroleerd door Rijkswaterstaat (RWS) en Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

Na het doen van de metingen moet de mijnbouwer een duiding geven van de resultaten, en die overleggen aan SodM. Als de resultaten afwijken van de voorspellingen, vindt overleg plaats tussen de mijnbouwer en SodM. Vermilion overlegt ook regelmatig met de waterschappen, omdat bodemdaling gevolgen kan hebben voor het waterpeil, en voor waterafvoer.

Dit rapport is bedoeld om de resultaten inzichtelijk te maken.

Dit rapport bespreekt eerst kort hoe bodemdaling tot stand komt. Vervolgens beschrijft het rapport hoe de metingen worden uitgevoerd, en hoe de metingen gereguleerd worden. Voor de Vermilion voorkomens wordt een samenvatting van de resultaten gegeven. Deze resultaten zijn waar relevant geactualiseerd met de metingen van 2017. De individuele metingen worden in meer detail in de bijlagen besproken.

2 Achtergrond

2.1 Hoe wordt bodemdaling veroorzaakt?

2.1.1 Gaswinning

Aardgas zit op ongeveer 1.5-3.5 kilometer diepte onder druk in een poreuze gesteentelaag, zoals zandsteen- of kalksteen-lagen. De laag waaruit het gas geproduceerd wordt het reservoir genoemd. Het reservoir wordt afgesloten door een niet-doorlatend gesteente, bijvoorbeeld een kleisteen, anhydriet, of steenzout. De precieze diepte, en de aard van zowel het reservoirgesteente als de afsluitende laag verschillen van voorkomen tot voorkomen.

De lagen zijn in het algemeen over grote afstanden aanwezig. Door bewegingen van en botsingen tussen de aardplaten in de geologische geschiedenis is er reliëf ontstaan in de lagen. Het gas zal, omdat het lichter dan water is, zich verzamelen in de hoogste plaatsen; boringen zullen dan ook op zulke plaatsen gericht zijn.

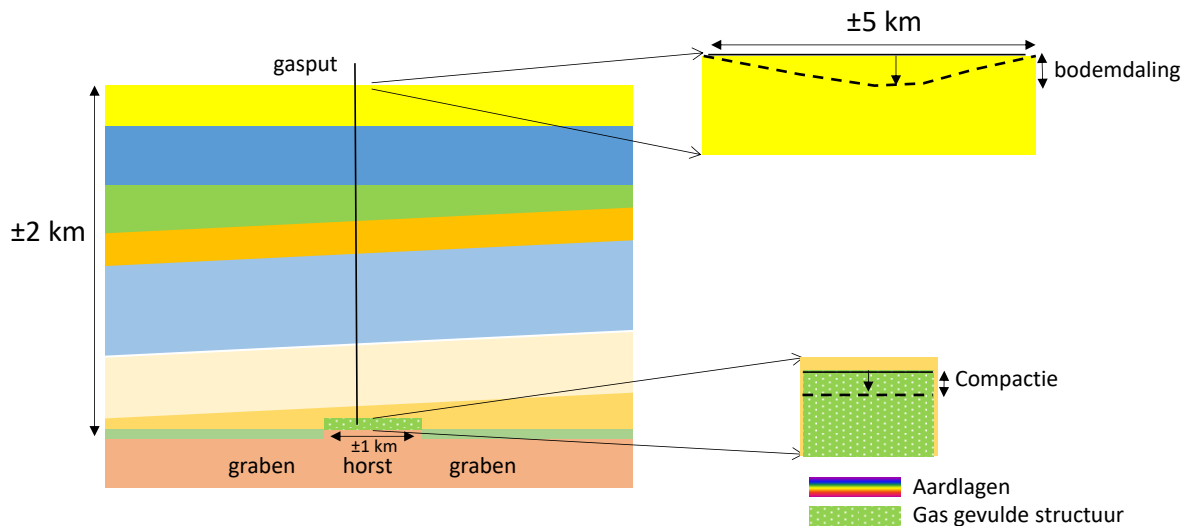
Bij gaswinning laat men het gas ontsnappen door een put die in het hoogste punt van het reservoir geplaatst wordt. Als gevolg van het ontsnappen van het gas zal de druk in het reservoir dalen (*druk-depletie*). De winning stopt als de druk zo laag is dat er onvoldoende gas door de put naar boven stroomt, of als de drukkaling ertoe leidt dat het reservoir gesteente rond de put volloopt met water.

2.1.2 De oorzaken van bodemdaling

Het gevolg van de drukkaling in het reservoir is dat het reservoir compacteert, d.w.z. dat de poriën een klein beetje inzakken als gevolg van het gewicht van de bovenliggende aardlagen doordat de tegendruk van het gas vermindert.

De mate van compactie hangt af van de gesteente-eigenschappen, en van de hoeveelheid drukkaling. Een vuistregel is dat de compactie 0,1% tot 0,2% van de hoogte van het reservoir bedraagt bij maximale drukkaling in het reservoir, aan het einde van de levensduur van het voorkomen. (Bijvoorbeeld als een laag 20 m dik is, dan bedraagt de compactie rond de 2 tot 4 cm.)

Als het reservoir compacteert, zullen ook de lagen erboven een beetje inzakken. Bij dat dalingsproces verdeelt het volume van de compactie zich, zodat aan de oppervlakte een bodemdalingskom ontstaat. De dalingskom heeft de vorm van een heel platte schotel. Doordat de winning op grote diepte plaatsvindt, en door de zeer gelijkmatige opbouw van de ruwweg bovenste kilometer gesteente, verloopt die dalingskom zeer glad. Aan de randen gaat de daling geleidelijk naar nul, in het midden vindt de grootste daling plaats. Het volume van de kom is ongeveer even groot als de volumeverandering van het reservoir. Het oppervlak van de kom is groter dan het oppervlak van het reservoir; aan alle kanten komt er een afstand bij ongeveer gelijk aan de diepte van het reservoir. Hierdoor is de bodemdaling op het diepste punt van de kom aan de oppervlakte minder dan de compactie op diepte in het reservoir. Figuur 2-1 geeft dit schematisch weer voor een reservoir op 2 km diepte met een doorsnede van 1 km.



Figuur 2-1: Schetsmatige, generieke, doorsnede van een gasreservoir. Diepte, vorm, daling en compactie verschillen van geval tot geval.

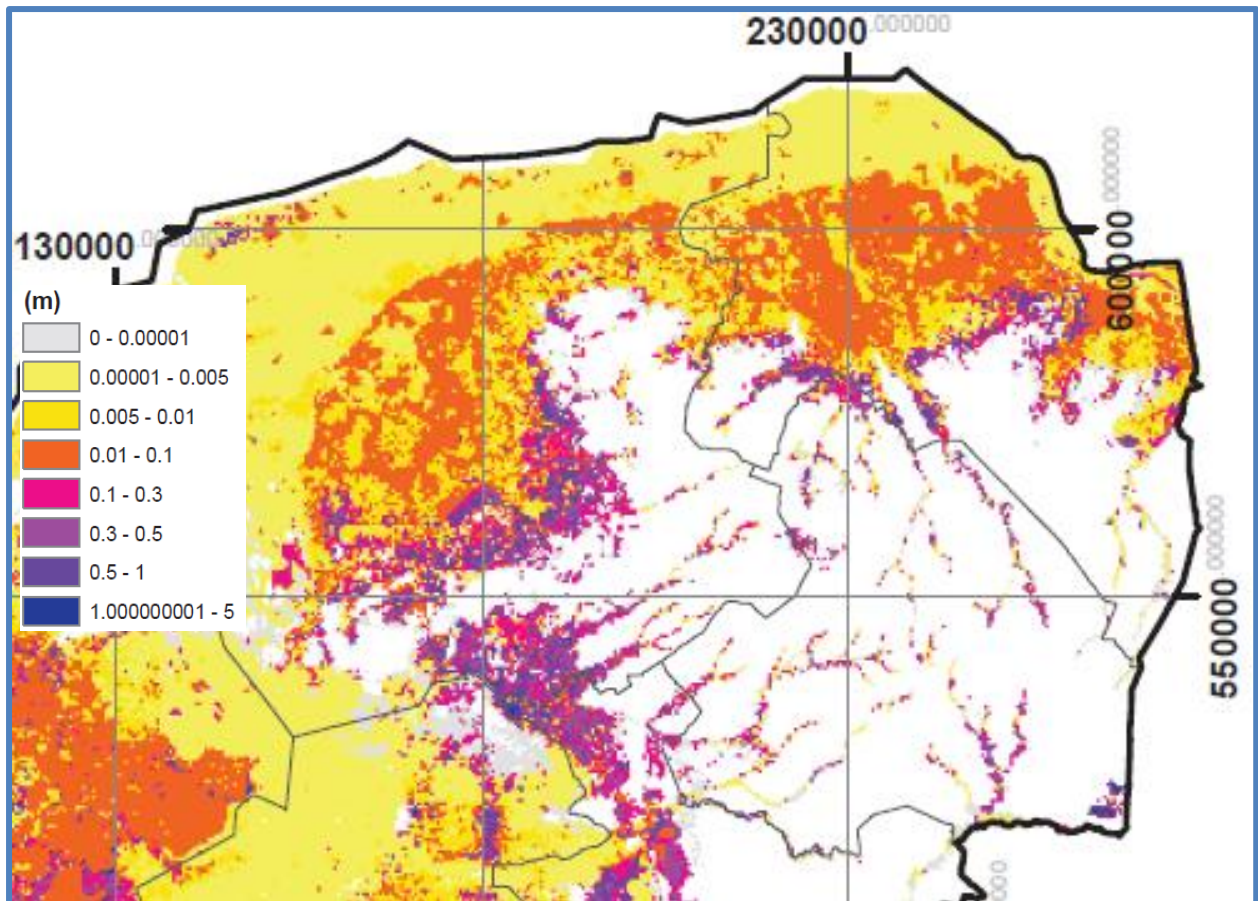
2.1.3 Autonome bodemdaling

Naast bodemdaling door mijnbouwactiviteiten, vindt er ook zogenaamde *autonome* bodemdaling plaats. Dat is bodemdaling onafhankelijk van de mijnbouw. Dat gebeurt door verschillende mechanismes, waaronder veen- en klei-inklinking.

Doordat de autonome daling opgebouwd is uit inklinking in verschillende lagen, bouwt die naar boven toe op, en heeft het maaiveld de grootste autonome daling. Diepere lagen vertonen minder autonome daling, omdat de inklinking van de lagen erboven niet bijdraagt.

Door Deltares is de autonome maaiveld daling in heel Nederland in kaart gebracht (ref. 5.1; Figuur 2-2). Die bodemdaling is gerelateerd aan de samenstelling van de ondiepere ondergrond (bijvoorbeeld aan de aanwezigheid van veen en klei).

De bijdrage van autonome dalingen aan de metingen wordt in meer detail in de Bijlage (Hoofdstuk 7) besproken.



Figuur 2-2: Maaiveld daling 50 jaar na 2011 (Uitsnede; Deltares, ref. 5.1).

2.2 Hoe wordt bodemdaling gemeten?

2.2.1 Peilmerken & meetnet

Peilmerken

De dalingsmeting wordt gedaan aan *peilmerken*. Dat zijn vaste punten die op een groot aantal plekken zijn aangebracht, zoals bestaande gebouwen, vaak huizen, maar bijvoorbeeld ook viaducten. Er zijn ook peilmerken die speciaal zijn aangelegd voor dalings- of NAP-metingen. Deze zijn i.h.a. dieper gefundeerd.

Stabiliteit

Bij peilmerken aan bestaande gebouwen wordt een uitwendige controle uitgevoerd om te bepalen of het gebouw stabiel is, voordat het peilmerk wordt aangebracht. De diepe peilmerken zijn gefundeerd op het pleistocene zand, en vaak wordt vooraf een sondering uitgevoerd om te bepalen hoe diep dat zand zit.

Ondanks de controles, kan het gebeuren dat een (ondiep gefundeerd) peilmerk *onstabiel* is, een daling vertoont die groter is dan de omliggende peilmerken. Dat kan bijvoorbeeld veroorzaakt worden door variaties in de ondiepe bodemopbouw, of door de aard van de fundering van het object waaraan het peilmerk is bevestigd. Bij de analyse van de bodemdalings-metingen moet met dergelijke onstabiele punten rekening gehouden worden.

Aansluitpunt

Bodemdalingsmetingen zijn *relatief*, met andere woorden de hoogte van een punt ten opzichte van een ander punt wordt bepaald. Om deze metingen te relateren aan mijnbouw-bodemdaling wordt er één punt uitgezocht waarvan het zeker is dat er geen mijnbouw-bodemdaling is, het *aansluitpunt*. Hoogtes worden dan steeds aan het aansluitpunt gerelateerd. Aangezien dat aansluitpunt geen mijnbouw-effecten ziet, zullen variaties in hoogtes t.o.v. het aansluitpunt (mogelijk) wel aan mijnbouw-daling gerelateerd zijn. De NAP-hoogte van het aansluitpunt is bekend verondersteld, in het algemeen

op basis van gegevens van Rijkswaterstaat. Op deze manier kunnen de relatieve hoogteverschil metingen gelinkt worden aan het Normaal Amsterdams Peil (NAP).

Autonome daling in de metingen

Hoe dieper je meet, hoe minder inklinkingseffecten (par. 2.1.3) de meting beïnvloeden. Immers inklinking die boven de meetdiepte plaatsvindt, wordt niet gemeten. De waargenomen bodemdaling is dus groter naarmate de meet-diepte kleiner is. Als dus het aansluitpunt dieper is dan de andere meetpunten, dan zal er een bodemdalingscomponent in die andere meetpunten zitten die niet in het aansluitpunt zit, en ook niet aan de mijnbouw-daling gerelateerd is. Op die manier kan het zo zijn dat er ook een autonome bodemdalingscomponent in een dalingsmeting zit.

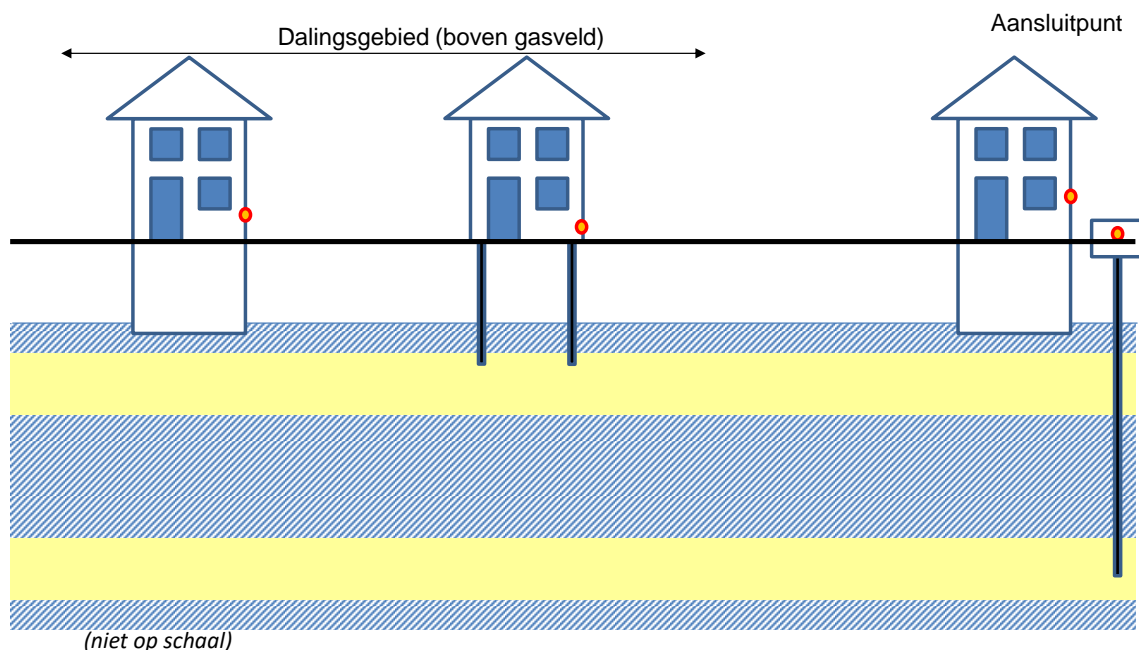
Daarnaast vertoont de autonome daling lokale variaties. Ook die kunnen leiden tot gemeten daling die niet aan mijnbouwactiviteit gerelateerd is.

Omdat de metingen die hier ter sprake komen bedoeld zijn om daling door mijnbouwactiviteiten aan het licht te brengen, daling door een diepe oorzaak dus, is het dus niet de bedoeling de daling van het maaiveld te meten.

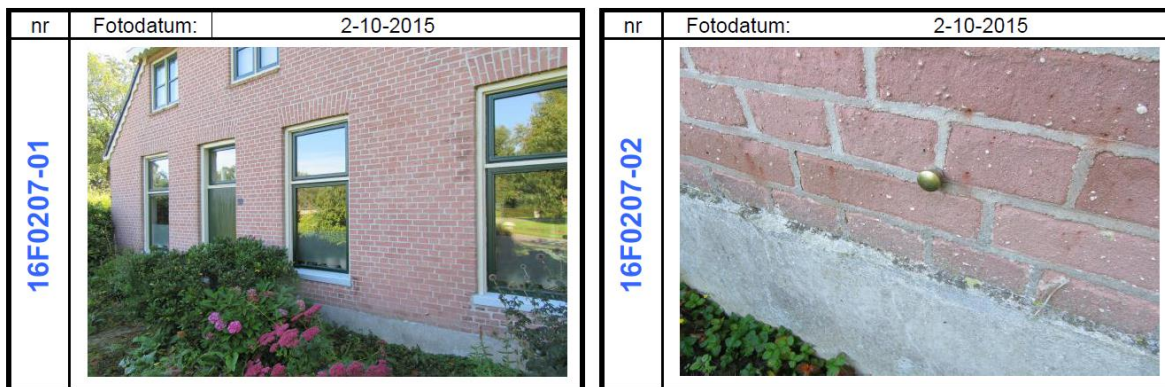
Bij de analyse van bodemdalingsmetingen moet Vermilion de invloed van autonome daling bekijken. Voor zover maaiveld- of autonome daling zichtbaar is, wordt daarvoor gecorrigeerd. De bijdrage van autonome dalingen aan de metingen wordt in meer detail in de Bijlage (Hoofdstuk 7) besproken

Meetnet en meetregister

De bodemdalingsmeting wordt uitgevoerd aan een groep aaneengesloten meetpunten, die samen een *meetnet* vormen. Ook de rapportage, het *meetregister*, en analyse vindt plaats voor het meetnet als geheel. Vaak zal zo'n meet net zich over meerdere mijnbouwgebieden uitstrekken, zeker als de dalingskommen overlappen.



Figuur 2-3 Schematische weergave van peilmerken bij een dalingsmeting. Peilmerken zijn bevestigd aan gebouwen, die op verschillende manieren gefundeerd zijn. De meting wordt uitgevoerd t.o.v. een peilmerk buiten het invloedsgebied van de mijnbouw. Zo'n aansluitpunt kan diep of ondiep gefundeerd zijn (daar moet bij de analyse rekening mee gehouden worden). Als we de twee rechter meetpunten vergelijken, zien we dat de meest rechtse dieper gefundeerd is. Dit meetpunt is ongevoelig voor inklinking van de lagen boven de funderingsdiepte.

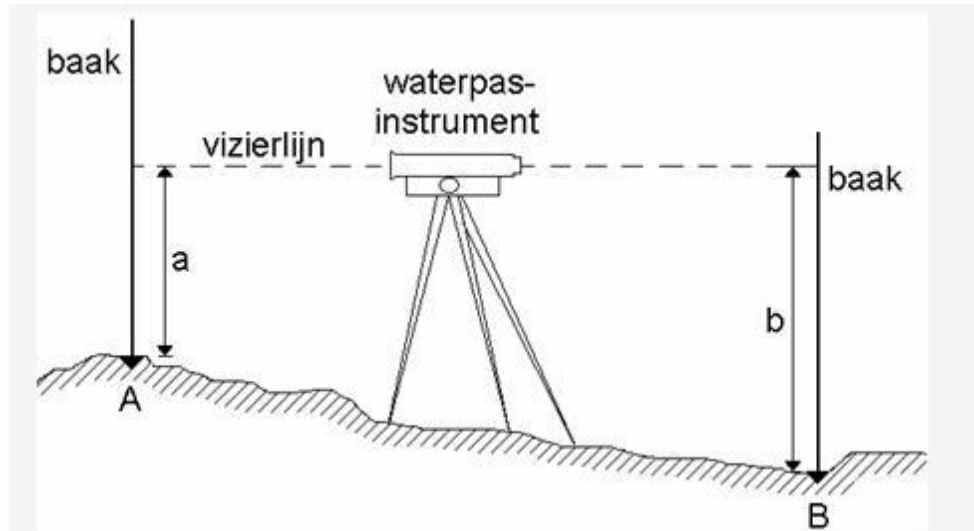


Figuur 2-4 Voorbeeld van een peilmerk (koperen bout) aan een huis. De foto rechts is ingezoomd t.o.v. de linkerfoto.



Figuur 2-5 Voorbeeld van een meetnet, hier als kaart uit een meetregister (meetplan Leeuwarden-West).

2.2.2 Meetmethoden



Figuur 2-6 Schets bepaling hoogteverschil m.b.v. waterpassing.

De waterpassingmethode is de meest gebruikte methode om bodemdaling te meten. Bij deze methode wordt het hoogteverschil tussen verschillende, naast elkaar gelegen, peilmerken gemeten met behulp van een optisch waterpasinstrument. Door het hoogteverschil tussen peilmerken in kringen te meten en in heen- en teruggang, kan de meetonzekerheid beperkt worden.

De waterpasmetingsmetingen worden voor Vermilion uitgevoerd door “Antea Group” volgens de richtlijnen opgesteld door de Rijkswaterstaat (ref. 14).

De nauwkeurigheid van deze meetmethode is afhankelijk van de grootte van het meetnet en de meetfrequentie, maar kan over het algemeen op circa 3-5 mm gesteld worden.

Zoals boven is opgemerkt, kan de daling van een peilmerk, hoe nauwkeurig ook gemeten, ook deels veroorzaakt worden door niet-winnings-gerelateerde effecten. Het gevolg daarvan is dat de schatting van de mate van bodemdaling door mijnbouwactiviteiten een grotere onnauwkeurigheid heeft dan de onnauwkeurigheid van de peilmerkhoogtes. Dit effect verschilt van gebied tot gebied, en moet voor ieder meetplan individueel vastgesteld worden.

Waterpassingen geven een goed beeld van de ruimtelijke vorm van de dalingskom. Meestal worden ze minder dan jaarlijks uitgevoerd; een frequentie van eens in de vijf jaar is gebruikelijk.

2.2.3 GPS metingen

Global Navigation Satellite System (GNSS) of Global Positioning System (GPS) kan als alternatieve meetmethode gebruikt worden. Via GPS meetstations is het mogelijk om hoogtes (dus: zettingen) op bepaalde punten te monitoren, zonder dat het gehele waterpassing meetnet gemeten hoeft te worden.

Vermilion gebruikt twee soorten GPS hoogtemetingen om bodembeweging te detecteren:

1. Continue GPS metingen
2. Regelmatige GPS metingen

Regelmatige GPS metingen

Bij de regelmatige GPS metingen worden er GPS hoogte metingen uitgevoerd in het centrum van de bodemdalingskom op een geplaatst meetmerk van de hoogste stabiliteit, vaak een diep gefundeerd peilmerk. Er wordt ook een GPS hoogtemeting uitgevoerd bij een stabiel referentiepunt dat buiten de theoretische invloedssfeer valt, zodat het meetgrid nauwkeurig aan het NAP gekoppeld kan worden.

Meetplannen met GPS metingen worden over het algemeen ook regelmatig gewaterpast. De peilmerken waaraan de GPS meting plaatsvindt, worden dan ook in de waterpassing betrokken zodat de metingen vergeleken kunnen worden.

GPS metingen betreffen een klein aantal punten. Ze worden over het algemeen frequenter uitgevoerd, soms jaarlijks. Het voordeel van de jaarlijkse GPS meetcampagnes is dat het de meetfrequentie van het betreffende meetnet verhoogt. GPS metingen kunnen dus ook als signaleringsmetingen worden gebruikt: als de meting significant afwijkt van de prognose, kan een waterpassing eerder dan gepland worden uitgevoerd.

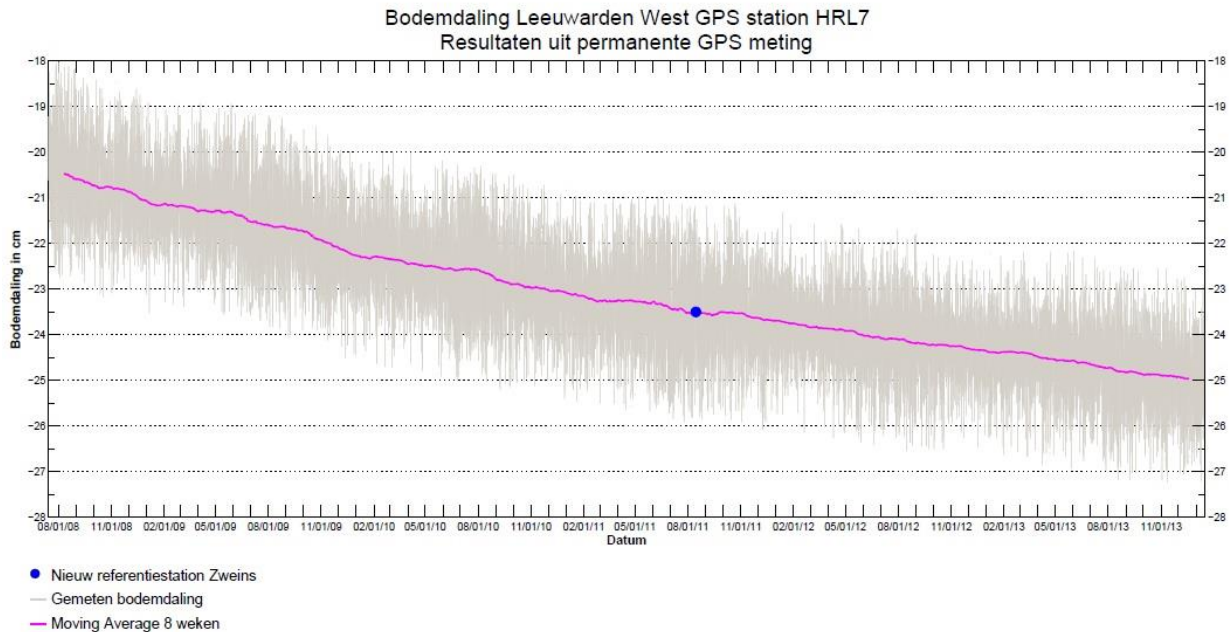


Figuur 2-7 Tijdelijk GPS station zoals gebruikt bij een regelmatige GPS meting

Continue GPS metingen

Voor situaties met grotere bodemdaling kan er gekozen worden voor een continue GPS meting. In zo'n geval wordt er een permanent GPS station geïnstalleerd, dat voortdurend de hoogte meet. Voor het Harlingen Boven Krijt gasvoorkomen zijn zulke GPS meetstations op de productielocaties Harlingen 4 en Harlingen 7 geplaatst. Deze GPS stations zijn niet diep gefundeerd, en de daling die ze meten bevat dus in principe niet-gaswinnings-gerelateerde componenten.

Figuur 2-8 hieronder geeft een voorbeeld van een meetserie van zo'n station. Duidelijk is de relatief grote ruis (gedeeltelijk seizoensafhankelijk), waardoor statistische bewerkingen gedaan moeten worden om de resultaten te verwerken. De figuur geeft ook een indicatie van de nauwkeurigheid van de meting, zeker als die een kortere periode bestrijkt (zoals bij regelmatige GPS metingen).



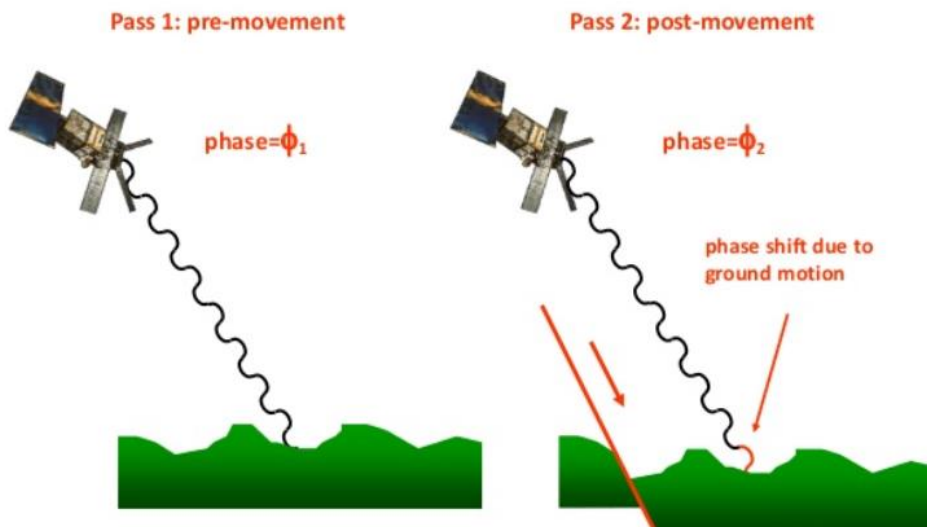
Figuur 2-8 Voorbeeld van resultaten continue GPS meting (op locatie 'Harlingen 7'; zie Bijlage, Hoofdstuk 10, voor een bespreking van deze meting).

2.2.4 InSAR

Satelliet radar interferometrie (InSAR) is een radar techniek, waarbij de bodembeweging in een gebied wordt bepaald door het vergelijken van verschillende satelliet beelden gemaakt op verschillende tijdstippen. De deformatie wordt aan de hand van faseverschilmetingen van reflectors (of Persistent Scatters (PS)) bepaald. Zo'n Persistent Scatter is een reflecterend object, zoals een weg of gebouw. De nauwkeurigheid van de InSAR deformatie techniek kan 3mm voor stedelijke gebieden zijn, en 7mm voor landelijke gebieden in Nederland (ref. 15).

InSAR is dus in principe in staat om relatief kleine verplaatsingen te zien, met een hoge meetfrequentie, al is de nauwkeurigheid iets lager dan bij GPS of waterpassing. Wat wel bedacht moet worden is dat er geen controle is op de aard van de Scatters, op hoe diep die gefundeerd zijn, en op welke dalingscomponenten die bevatten. Ook bij InSAR is de relatie tussen gemeten hoogtes en mijnbouwgerelateerde bodemdaling niet altijd 1 op 1.

NAM heeft InSAR gebruikt bij de metingen in Noord-Nederland, o.a. boven het Groningen gasvoorkomen (ref. 12). Het is ook toegepast in Leeuwarden-West (zie ref. 25, 28). In beide gevallen gaat het om dalingskommen van enkele decimeters diep. Vermilion heeft ook InSAR gebruikt bij Zuidwal, waar de Scatters precies bekend zijn (het platform staat immers alleen in de Waddenzee), en daar gaf de meting een waardevolle aanvulling, met name voor de tijdsresolutie (zie Bijlage, hoofdstuk 9). De spreiding in de InSAR data (Figuur 9-1) geeft een indicatie over de nauwkeurigheid van de methode.



Figuur 2-9 Door bodemdaling moet het radarsignaal een iets langere weg afleggen. Daardoor verandert de fase van de gereflecteerde radargolf. Een meting van die faseverandering wordt bij InSAR omgerekend tot bodembeweging (bron: Gareth Funning, University of California, Riverside).

2.3 Meetplan & Winningsplan

In het kader van de gaswinning moet een *meetplan* opgesteld worden. Hierbij wordt de bodemdaling in een ruim gebied rondom het gasvoorkomen gemeten. Dat gebeurt meestal door waterpassing op een reeks punten in een *meetnet*, boven en rondom het voorkomen, vaak aangevuld met GPS metingen op specifieke locaties. Voor het opstellen van een meetplan bestaan wettelijke regels en de zogenaamde 'Industrieleidraad – Geodetische basis voor Mijnbouw' (Ref. 2). De frequentie van de metingen, en de dichtheid en uitgebreidheid van het meetnet, worden gekozen in overleg met SodM en de Technische Commissie Bodembeweging (TCBB). Het meetplan vereist de goedkeuring van de minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK).

Als bodemdalingsgebieden van verschillende voorkomens overlappen, dan zullen ook de meetplannen overlappen. In sommige gevallen zal er dan voor gekozen worden de meetplannen samen te voegen, ook weer in overleg met SodM.

De eerste meting van zo'n meetplan, bedoeld om de aanvangshoogte vast te stellen, wordt een *nulmeting* genoemd.

Voorafgaand aan de winning wordt een model gemaakt om de bodemdaling te voorspellen. De complexiteit van het model zal afhangen van de complexiteit van de ondergrond-situatie. De parameters in het model zijn gebaseerd op ervaringen in eerdere, soortgelijke, voorkomens. De voorspelde bodemdaling wordt gepresenteerd in het winningsplan.

Omdat het diepte-verloop van de lagen alleen indirect gemeten kan worden, en de eigenschappen van de gesteentelagen maar op enkele punten bekend zijn (uit eerdere boringen), zijn er onzekerheden in de voorspellingen voor de grootte van een gasvoorkomen. In veel gevallen zal het voorafgaand aan de boring niet zeker zijn of er wel gas aanwezig is. Daarnaast zal er enige onzekerheid zijn over specifieke parameters (zoals samendrukbaarheid) van het gesteente. Het gevolg is dat de dalingsvoorspelling door onzekerheidsmarges omgeven is. (Dit wordt meer gedetailleerd hieronder besproken.)

Mocht de gemeten bodemdaling onverhoopt niet verlopen overeenkomstig de in het winningsplan aangegeven voorspellingen, dan zal Vermilion de bodemdalingsmodellen en de parameters van het model evalueren om te achterhalen waarom de gemeten waarden niet overeenkomen met de voorspellingen. Vermilion zal SodM als toezichthouder hierover informeren. Wanneer wordt geconcludeerd dat de maximale verwachte bodemdaling zoals in het winningsplan aangegeven zal

worden overschreden, zal Vermilion een aangepast winningsplan indienen. Dit aangepaste winningsplan heeft weer de instemming van de Minister.

De laatste meting wordt dertig jaar na de laatste productiedatum van een gasvoorkomen gedaan, of eerder indien wordt vastgesteld dat de bodem niet meer daalt als gevolg van aardgaswinning.

2.3.1 **Rijkswaterstaat**

De landmeetkundige aspecten van de dalingsmetingen (m.n. waterpassingen) worden door Rijkswaterstaat geverifieerd. De uitgevoerde metingen worden ook in een landelijke database opgeslagen. Deze is toegankelijk via het internet (ref. 7).

Rijkswaterstaat voert zelf ook metingen uit, in het kader van het NAP. Die vinden om de tien jaar plaats, en in gebieden waarvoor speciale aandacht is (zoals Groningen en (grotendeels) Friesland) om de vijf jaar. Ook de resultaten van deze metingen worden opgeslagen in de database.

Gebruik van de data uit de database geeft de mogelijkheid om buiten de grenzen van een meetplan te kijken, om meer referentie gebieden te zoeken, en ook om terug te kijken naar de jaren voordat de winning begon, voor de nulmeting dus. Daarbij moet wel in acht worden genomen dat de metingen waaruit de RWS database bestaat niet allemaal precies dezelfde referentie hebben, waardoor de hoogtes (wanneer we ze gebruiken voor bodemdaling) wat minder nauwkeurig zijn dan die van daar specifiek voor bedoelde meetcampagnes. (zie Bijlage, hoofdstuk 6).

2.3.2 **NLOG**

De resultaten van bodemdalingsmetingen die in het kader van mijnbouw worden uitgevoerd, de meetregisters, worden door SodM via de website NLOG gepubliceerd. (ref. 11).

2.4 **Modellering bodemdaling**

In deze paragraaf worden de technische principes van het modelleren en voorspellen van bodemdaling uitgelegd. In zijn algemeenheid is het detailniveau waarin de modellering wordt uitgevoerd, afhankelijk van de mate van bodemdaling. Voor voorkomens met meer bodemdaling wordt in meer detail gekeken. Specifiek voor het Harlingen Bovenkrijt voorkomen is een geomechanisch uitgebreidere modellering gebruikt, die verderop apart besproken wordt.

2.4.1 **Basismodellering**

Compactie

Zoals hierboven uitgelegd (par. 2.1.2) staat, leidt productie tot drukdaling (dp), of *depletie*. Vervolgens leidt drukdaling tot compactie (dh). De basisformule voor compactie is:

$$dh = C_m \cdot h \cdot dp$$

Hierin is de (depleterende) hoogte h , en de compactie-coëfficiënt C_m :

Compactie is voornamelijk afhankelijk van cementatie, porositeit, samenstelling en de microstructuur van een gesteente. De compactie-coëfficiënt zelf is i.h.a. iets afhankelijk van de druk; de compactie bij geringe drukdaling is niet altijd een goede maat voor de compactie bij grote drukdaling.

Bodemdaling

Compactie leidt vervolgens tot bodemdaling. De modellering van bodemdaling uit compactie wordt gedaan conform de methode van Van Opstal (ref. 5). Die voorspelt hoe compactie op een bepaald punt de bodemdaling in het gebied erboven veroorzaakt. Dat gebied heeft ruwweg een straal die gelijk is aan de diepte van het reservoir. Als het gebied waarbinnen drukdaling optreedt bekend is, dan zal bodemdaling optreden binnen een afstand van dat gebied die gelijk is aan de reservoir diepte.

Ook het gesteente onder het reservoir wordt in principe beïnvloed door de compactie, maar dat zal maar in beperkte mate gebeuren. Dit wordt door het concept '*rigid basement*' gemodelleerd. Hierbij wordt aangenomen dat vanaf een zekere diepte onder het reservoir, het gesteente niet meer zal vervormen als gevolg van de gaswinning. Gezien de geologische setting van de reservoirs, wordt een rigid basement factor van 1.05 genomen voor Rotliegend en Zechstein reservoirs, en 1.2 voor Vlieland zandsteen. De rigid basement diepte heeft een (kleine) invloed op de vorm van de bodemdalingsschikking.

De bodemdaling manifesteert zich in een zeer geleidelijk verlopende kom, waarvan het diepste punt boven het gesteente ligt waar de drukkaling plaatsvindt. De totale volume van de kom is vergelijkbaar met het totale compactie-volume op reservoir-niveau, maar verspreid over een groter oppervlak.

Parameter-afhankelijkheden

We kunnen dus een aantal afhankelijkheden zien:

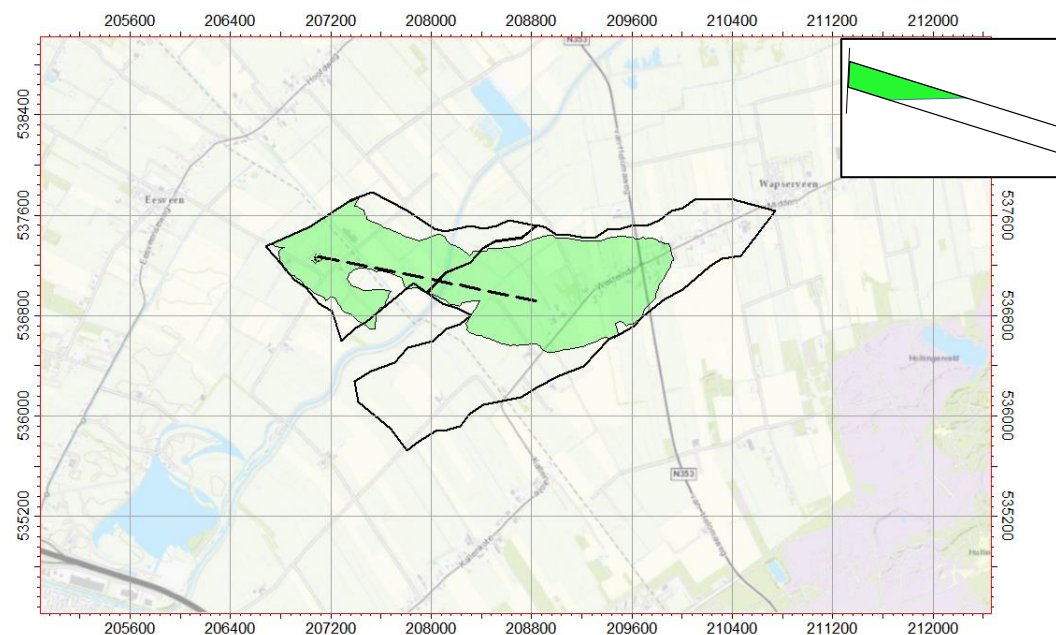
- Als het gesteente stijver is (kleinere C_m), dan is er minder bodemdaling
- Als het gesteente dunner is (kleinere h), dan is er minder bodemdaling
- Als het depletende gebied kleiner is, dan is ook het gebied met bodemdaling kleiner. Voor voorkomens waarvan de straal kleiner is dan de diepte, zal een verkleining van het gebied ook leiden tot een ondiepere dalingskom.
- Als er minder drukkaling is, dan is er minder bodemdaling

Tijdvertraging

Er treedt een vertraging op tussen productie en bodemdaling. Die is het gevolg van een aantal factoren, zowel in het reservoir zelf (bijv. kruip), en daarboven (bijv. ref. 12). Daarom is het nodig de tijdafhankelijkheid specifiek te modeleren. Daarvoor is een tijd-convolutie met een eerste-orde (of 'time decay') functie gebruikt.

Uitgebreidheid van het depletiegebied

Bij een watergedreven reservoir wordt het gas in het reservoir omhoog gedrukt door een aanwezige waterlaag, een *aquifer*, die in verbinding staat met het gasreservoir. Wanneer een bepaalde hoeveelheid gas uit het reservoir is geproduceerd, zal het waterniveau de put bereiken en stopt de gasproductie. Wanneer deze aquifer relatief groot is ten opzichte van het gasreservoir, is de druk daling geringer dan hij zou zijn zonder de aquifer. Als er een aquifer is, zal er ook boven de aquifer enige bodemdaling optreden.



Figuur 2-10: Voorbeeld van het meenemen van het watervoerende deel in de bodemdaling berekening. De inzet rechtsboven geeft de methode (groen is gas, wit is water in breukblok), de kaart geeft de uitwerking voor Eesveen. Dit voorbeeld is uit het winningsplan Eesveen (ref. 44). De mate waarin het watervoerende deel depleteert is onzeker, en wordt als zodanig meegenomen.

Overlap tussen dalingskommen

Als de afstand tussen voorkomens kleiner is dan hun diepte, dan zullen de bodemdalingen overlappen. Vermilion rekent altijd samengestelde bodemdalingen uit, waarin alle winningen meegenomen zijn.

Bron van parameterwaarden

Bij de bepaling van de mogelijke waarden voor de parameters in de modellering zijn eerdere ervaringen in vergelijkbare (analoge) Vermilion voorkomens gebruikt, en ook gerapporteerde NAM waarden (2015, ref. 12).

2.4.2 Onzekerheden

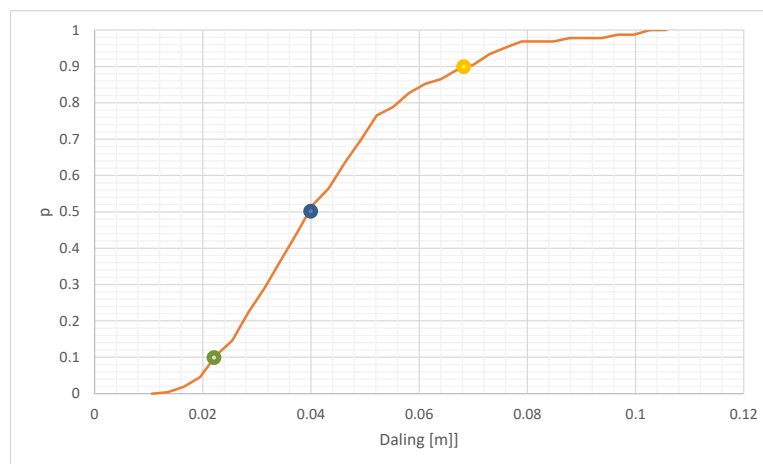
Desalniettemin blijft er onzekerheid over welke waarden de parameters voor een specifiek voorkomen hebben. Uit de analyse van de bodemdalingen boven voorkomens die al lang produceren, of zelfs uitgeproduceerd zijn, komen verschillende parameterwaarden. Omdat de onzekerheid in het algemeen over verschillende parameters verdeeld is, kan ook bij zulke oude winningen, waar de bodemdaling bekend is, niet precies vast gesteld worden wat de individuele parameter-waarden zijn: verschillende parametercombinaties kunnen dezelfde bodemdaling opleveren.

De onzekerheid wordt in het proces meegenomen door voor alle parameters 2-3 waarden te kiezen die de in het verleden waargenomen bodemdalingen omspannen. De bodemdaling is vervolgens voor alle parametercombinaties uitgerekend. Aan elke parameter-realiseratie wordt een kans toegekend. In het algemeen zullen Laag/Mid/Hoog parameterwaarden de kansen 30%/40%/30% krijgen (bijv. ref. 17). Als specifieke informatie beschikbaar is, kunnen andere kansen gekozen worden. Dat leidt tot een totaal van 100-400 realisaties, die elk een samengestelde kans hebben. Het resultaat is een kansverdeling zoals in Figuur 2-11.

Ook voor de tijdvertraging die hierboven besproken is wordt een onzekerheid meegenomen.

De "P10" schatting

Om een conservatieve schatting te geven, is het gebruikelijk de zgn. P10 waarde te gebruiken. Dat is de waarde die met 90% zekerheid niet overschreden wordt. De getallen en kaarten die in winningsplannen vermeld worden zijn gebaseerd op een realisatie die tot zo'n conservatieve P10 daling leidt. Aangezien Vermilion meer dan 10 voorkomens in productie heeft, betekent het gebruik van het P10 criterium dat verwacht moet worden dat er enkelen zullen zijn die daadwerkelijke overschrijding te zien zullen geven. Zo'n overschrijding is dus op zichzelf geen reden aan te nemen dat de methodologie bijgesteld moet worden. (Hetzelfde geldt voor onderschrijdingen.)

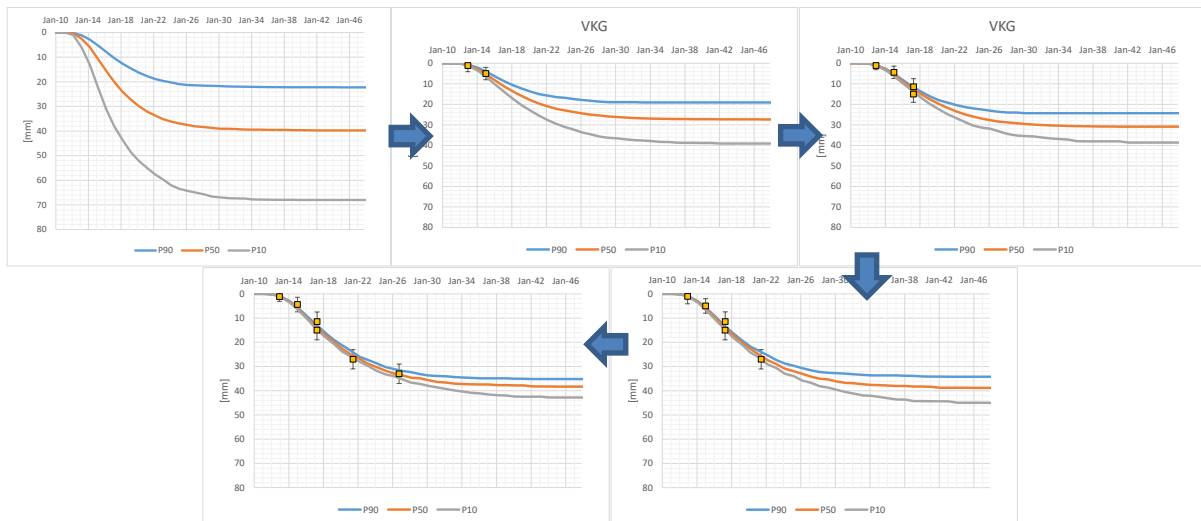


Figuur 2-11 Voorbeeld van een dalings-kansverdeling. In dit rekenvoorbeeld is de mediane daling (P50) 4 cm (blauw), en de P10, dat is de daling met 10% overschrijdingskans, 6.8 cm (oranje).

Calibratie aan metingen

Voor de aanvang van aardgaswinning wordt voorspeld wat de te verwachte compactie van het reservoir zal zijn, en de bodemdaling die daar het gevolg van is. Nadat een meting is uitgevoerd, wordt de uitkomst van de meting vergeleken met de voorspelling. De statistische berekening wordt getoetst aan de metingen m.b.v. een Bayes techniek (bijv. ref. 16). Dit leidt ertoe dat de onzekerheidsmarge voor de dalingsvoorspelling voor een gegeven voorkomen kleiner zal worden naarmate er meer metingen gedaan zijn. Figuur 2-12 illustreert dit proces. Naarmate er in de loop van de tijd meer metingen komen wordt de verdeling zo steeds nauwer; de onzekerheid steeds kleiner. Het gevolg hiervan is dat voor oude winningen (zoals bijvoorbeeld Nijensleek) de einduitkomst volledig door de metingen bepaald wordt; de *a priori* verdeling speelt dan geen rol meer.

Behalve dat de onzekerheden kleiner worden, zullen er na verwerking van iedere meting (meestal kleine) wijzigingen optreden in de waarde van de P10 schatting.



Figuur 2-12 Naarmate er meer metingen bijkomen, wordt de onzekerheid in de einddaling kleiner (rekenvoorbeeld). De verdeling voordat er metingen zijn (figuur linksboven) wordt de a priori verdeling genoemd.

Als er voldoende informatie beschikbaar is, d.w.z. als er een duidelijke komvorm zichtbaar is, wordt niet alleen de gemodelleerde diepte, maar ook de voorspelde komvorm gecalibreerd aan de metingen.

Merk op dat bodemdalingsmetingen geen onderscheid maken tussen voorkomens. Als er overlap is tussen dalingskommen, dan wordt de samengestelde daling gemeten. Bij het vergelijken van de bodemdaling met de modellen wordt dan ook altijd de samengestelde daling gebruikt.

Een meting geeft informatie over het voorkomen waarboven de meting wordt uitgevoerd. Maar als er uit de meting iets geleerd wordt over dat voorkomen, is dat ook relevant voor vergelijkbare voorkomens. Zo kan het gebeuren dat de voorspelling voor een voorkomen wordt bijgesteld als er een meting aan een ander, vergelijkbaar, voorkomen is uitgevoerd.

Zoals boven besproken kan, onder bepaalde omstandigheden ook een niet-winnings-gerelateerde, *autonome*, daling deel uitmaken van de gemeten daling. Bovendien zullen sommige peilmerken instabiel zijn. Ook daarmee houdt Vermilion rekening bij de analyse van de metingen, waarbij gezocht wordt naar een objectieve vaststelling van deze effecten.

Betekenis van de afwijkingen

Naast een vernauwing van de onzekerheidsmarge, zal voortgaande calibratie tot kleine variaties in de voorspelde waarden leiden. Zolang de nieuwe P10/P50/P90 range voor het grootste deel overlapt met de oude P10/P50/P90 range is zo'n variatie geen reden om de aannames in de oorspronkelijke voorspelling te herzien. Als die overlap klein is, dan moet dat wel gebeuren, dan zal het model bijgesteld moeten worden. Dat kan in de dikte, of de vorm zitten, of in de andere parameters (met name C_m).

De interpretatie van de metingen wordt steeds overlegd aan SodM. Afhankelijk van de relatie tussen de afwijking en de in het instemmingsbesluit toegestane ruimte, zullen de consequenties van zo'n afwijking in overleg met SodM en het ministerie van EZK besproken en bepaald worden. Dat kan leiden tot een actualisatie van het winningsplan.

Door het noodzakelijkerwijs voortdurend actualiseren van de bodemdalingsmodellering, zullen kaarten die gegenereerd zijn na goedkeuring van het winningsplan afwijken van die in het winningsplan. Dit is een normaal proces, daarom worden immers de metingen gedaan. Een aantal van de gegevens in dit rapport zullen dus ook niet precies kloppen met die in het winningsplan.

2.4.3 Meer gedetailleerdere modellering

De hierboven besproken basismodellering is toegepast op het overgrote deel van de Vermilion voorkomens. In het geval van het Harlingen Bovenkrijt voorkomen is het gesteente (krijt) van een heel andere aard dan het gesteente in de andere voorkomens. Specifiek gedraagt het zich heel anders m.b.t. tot compactie en na-ijling. Daarom is er een gedetailleerde geomechanische modellering gedaan, inclusief metingen aan gesteente-monsters. Zie bijlage, hoofdstuk 10, voor een bespreking.

Het voorkomen Zuidwal ligt in de Waddenzee. Dat betekent dat de gevolgen van de bodemdaling anders van aard zijn dan op andere locaties. Ook voor dit voorkomen is er een meer gedetailleerde analyse gedaan, onder andere door een 3D drukveld mee te nemen. Zie bijlage, hoofdstuk 9, voor een bespreking

2.5 Effecten bodemdaling

2.5.1 Schade aan bouwwerken

Of een gebouw, of infrastructuur, schade oploopt door bodemdaling wordt vooral bepaald door de afstands-schaal waarop die daling plaatsvindt. Bodemdaling heeft nauwelijks invloed als ze gelijk is over het hele funderingsoppervlak. Ook een beperkte scheefstand heeft meestal geen gevolgen. Schade aan gebouwen door bodemdaling ontstaat wanneer er verschilzakking optreedt, i.e. als de zakking ongelijkmatig is, en daardoor leidt tot kromming van een gebouw.

Volgens de huidige kennis is de bodemdalingskom door aardgaswinning regelmatig. De dalingen verlopen geleidelijk, over meerdere kilometers. Er treden dus aan het terreinoppervlak uiterst geringe hellingen op, en nog veel geringere ongelijkmatigheden. Als we bijvoorbeeld een dalingskom hebben met een straal van 3 km en een diepte van 4 cm, dan geeft dit een zettingsverschil van 0.02 cm over een lengte van een huis (15 m).

De daling komt bovendien zeer langzaam tot stand, over een periode van jaren. Daarom zal een gebouw geen schade oplopen rechtstreeks door bodemdaling, of het nu midden in de dalingskom staat of meer naar de rand. Uit tot op heden uitgevoerd onderzoek is dan ook steeds geconstateerd dat er geen gebouwschade te verwachten is door bodemdaling als gevolg van gaswinning (ref. 9, 10).

2.5.2 Waterpeil

Het relatieve waterpeil wordt wel beïnvloed door de bodemdaling, en het is mogelijk dat er op zeker moment aanpassingen nodig zijn om vernatting te voorkomen. Bij de beoordeling van bodemdalingsgevolgen hanteren waterschappen typisch een grens van ongeveer vijf centimeter (er kunnen specifieke situaties zijn waar de drempel lager is). Bij bodemdaling tot die grens is over het algemeen geen compensatie voor het watersysteem noodzakelijk, tenzij de veiligheid in het geding is.

Onafhankelijk van de hoeveelheid daling, wordt de gemeten en verwachte daling, en de gevolgen van de bodemdaling, op regelmatige basis met de relevante waterschappen besproken.

Bodemdaling veroorzaakt niet rechtstreeks schade aan natuur en milieu. Maar via relatieve waterpeil-effecten is het wel mogelijk dat er een indirecte impact is. Bij het opstellen van een winningsplan moet zo'n inschatting gemaakt worden. De inschatting zal specifiek zijn voor de locatie van het gasvoorkomen.

2.5.3 Schadeafhandeling

Indien als gevolg van bodemtrillingen of bodemdaling door gaswinning toch schade ontstaat, dan zal deze worden vergoed overeenkomstig de regels van het burgerlijk recht. Vermilion heeft een schadeprotocol opgesteld, dat op de website van Vermilion Nederland te vinden is: (<https://www.vermilionenergy.nl/onze-verantwoordelijkheid/vermilion-en-schade-dooraardgaswinning/schade-melden.cfm>).

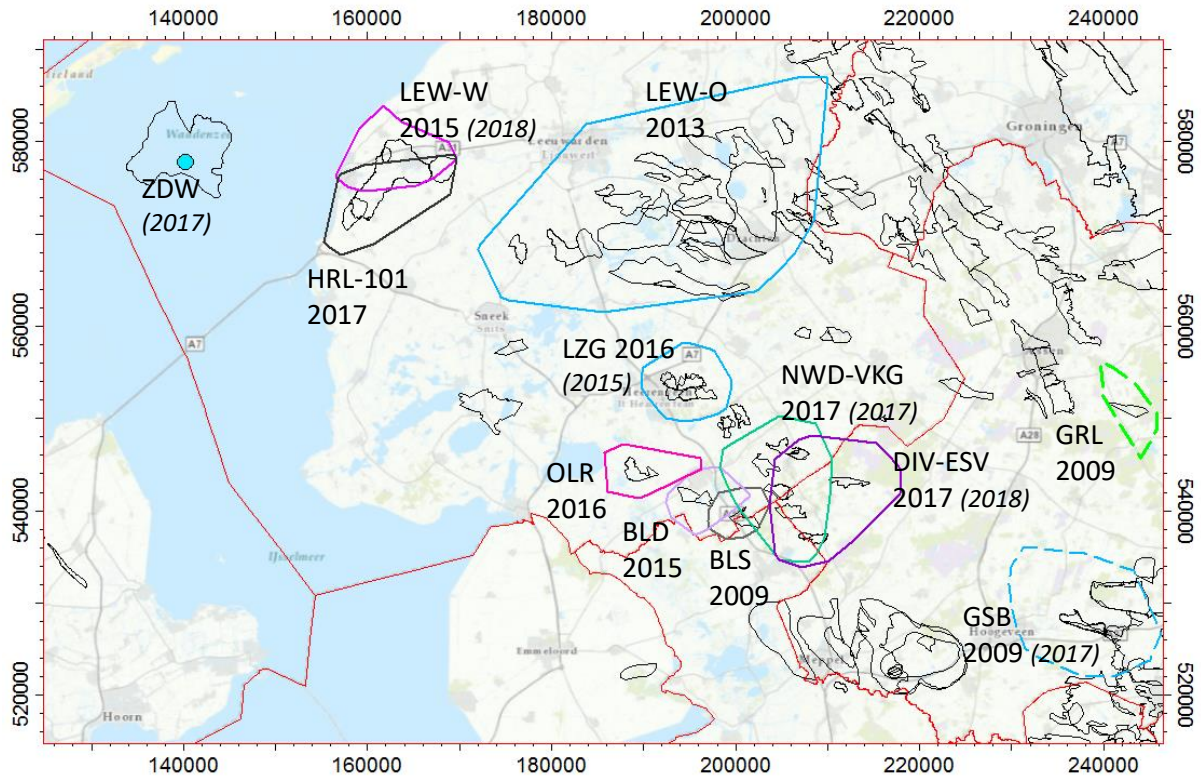
In Friesland heeft Vermilion een overeenkomst met de Commissie Bodemdaling Aardgas Fryslân en de provincie Friesland gesloten. Deze onafhankelijke commissie bepaalt welke maatregelen genomen moeten worden om de nadelige effecten van bodemdaling door aardgaswinning te voorkomen, te beperken of te herstellen. De bodemdalingscommissie bepaalt ook welke kosten Vermilion, aan de hand van de gesloten overeenkomst, dient te vergoeden (<http://www.bodemdalingfryslan.nl/>).

2.5.4 **Zuidwal**

Het Zuidwal voorkomen ligt onder de Waddenzee. De effecten van de bodemdaling komen daar op een heel andere manier tot stand, via de balans tussen de snelheid van de bodemdaling en de snelheid waarmee zand wordt aangevoerd. Dit wordt besproken in de bijlage, Hoofdstuk 9.

3 Uitgevoerde metingen & resultaten

Zoals boven besproken, zijn de bodemdalingsmetingen georganiseerd in een aantal meetplannen. In het kader van een aantal van deze meetplannen zijn in 2017 metingen uitgevoerd. Voor de voorkomens die onder deze meetplannen vallen zijn de gemeten dalingen met de modellen vergeleken, en de modellen geheralibreerd. De voornaamste resultaten worden hieronder genoemd. De hoofdstukken in de bijlagen geven meer detail.



Figuur 3-1 – Overzicht meetplannen. Jaar meest recente meting is aangegeven (GPS cursief).

3.1 Overzicht uitgevoerde metingen in 2017

Tabel 3-1 Overzicht uitgevoerde metingen in de verslagperiode. Onderstreepte voorkomens zijn in productie

Meetplan	Voorkomen(s)	Uitgevoerd in 2017	Opmerking	Besproken in bijlage hfst.:
Leeuwarden-West	Harlingen Bovenkrijt, <u>Ried</u> , Franeker	Permanente GPS HRL-04 en HRL-07	(Waterpassing gepland in 2018)	10
Kimswerd (HRL-101)	HRL-101	Waterpassing		11
Geesbrug	<u>Geesbrug</u>	GPS		18
Diever, Eesveen	<u>Diever, Eesveen</u> , Nijensleek	Waterpassing, GPS (begin 2018)		16
Noordwolde, Weststellingwerf, Vinkega, De Hoeve	<u>Noordwolde</u> , Weststellingwerf, <u>Vinkega, De Hoeve</u>	GPS (Vinkega/De Hoeve), Waterpassing		16
Zuidwal	<u>Zuidwal</u>	GPS		9
Oldelamer	<u>Oldelamer</u>	Waterpassing (eind 2016)		14

3.2 Overzicht huidige en toekomstige bodemdaling

In de tabel hieronder staat een samenvatting van de resultaten en vooruitzichten. In de twee kaarten daaronder is dezelfde informatie grafisch weergegeven, waarbij de individuele bijdragen uit onderstaande tabel bij elkaar opgeteld zijn en zo een gecombineerde bodemdaling vormen.

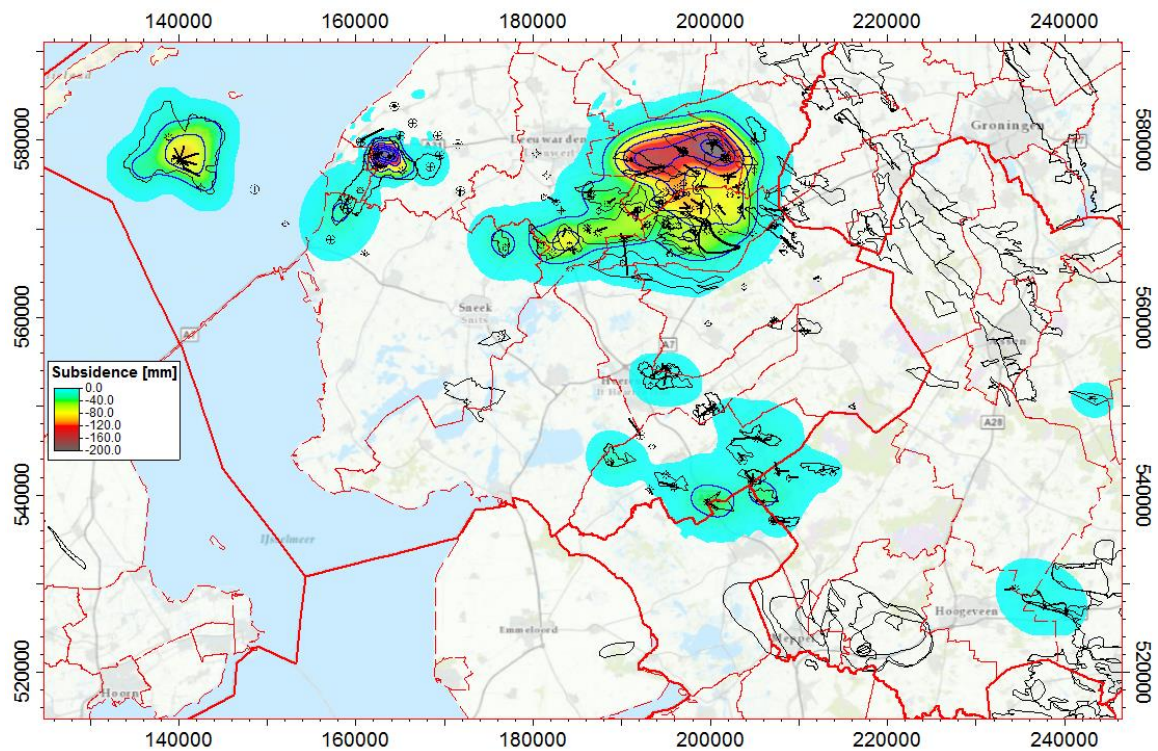
In de kaarten zijn ook de aanpalende dalingskommen meegenomen, conform de meest recente analyses van de desbetreffende meetregisters. Op die manier is een totaal samengestelde bodemdalingskaart gemaakt.

Winningsplannen waar een (voorlopig) instemmingsbesluit ligt zijn meegenomen, winningsplannen die minder ver in de procedure zijn, worden niet meegenomen.

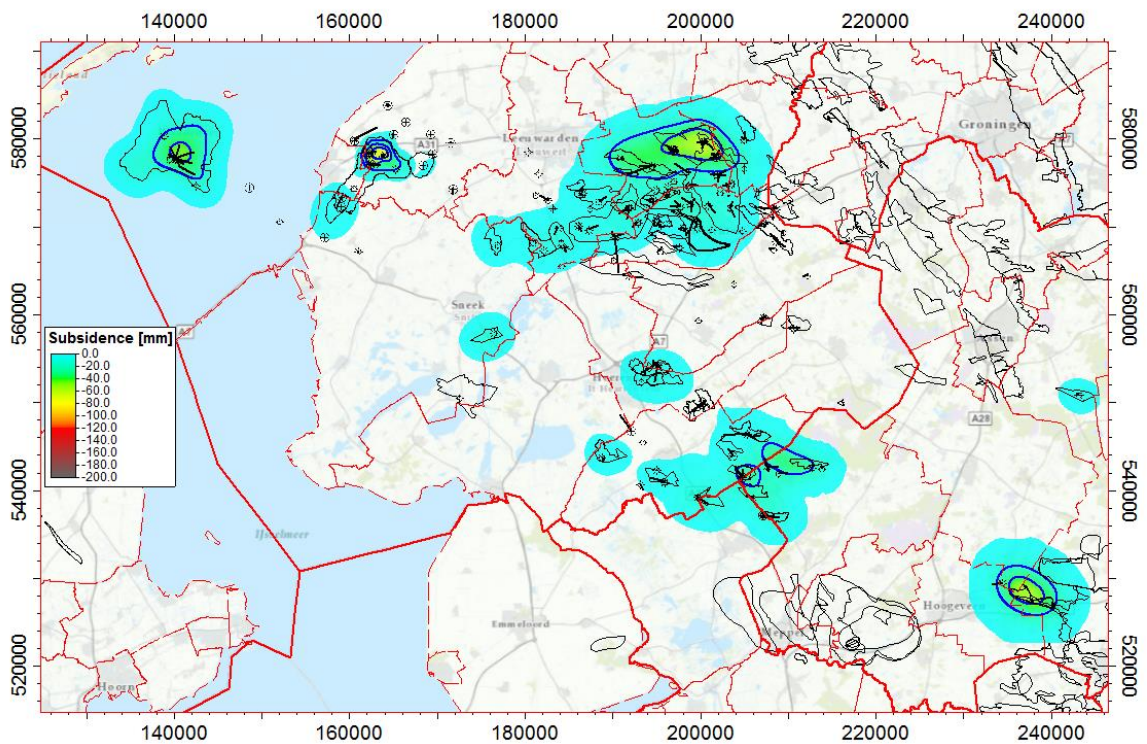
Tabel 3-2 Overzicht bodemdaling per voorkomen. De getallen zijn afgerond op hele cm. Het betreft de daling door winning uit het betreffende voorkomen; door samenstellingseffecten kan de daling hoger uitvallen. De samenstellingseffecten zijn meegenomen in de kaarten, en bij de calibratie met de metingen. Voor de voorkomens in het winningsplan Tietjerk wordt naar het NAM statusrapport 2015 verwezen (ref. 12).

Meetplan	Naam	Start winning	Eind winning	Gemeten bodemdaling [cm]	Jaar meting	Geschatte huidige bodemdaling [cm]	Geschatte toekomstige bodemdaling (P10) [cm]	Opmerkingen
Zuidwal	Zuidwal	1988		9	2017	10	5	
HRL-101	HRL-101 (LC)	1995	2005	2	2017	2	<1	Excl. autonome daling
Leeuwarden-West	HUC	1988	2008	27	0	29	7	Excl. autonome daling
	Franeker (LC)	1997	2008	<1	2015	<1	<1	Niet zelfstandig waarneembaar (HUC)
	Ried	1988		<1	2015	<1	<1	Niet zelfstandig waarneembaar (HUC)
Leeuwarden-Oost	Bozum	1989		3	2012	3	<1	Tijdelijk ingesloten vanaf 2013
	Grouw	1982		6	2013	6	1	Tijdelijk ingesloten vanaf 2013
	Rauwerd	1982		4	2013	4	<1	Tijdelijk ingesloten vanaf 2013
	Warga-Wartena	1981		4	2013	4	<1	
	Leeuwarden	1970		5	2013	5	1	
	Eernewoude	2012		<1	2013	<1	1	Niet eenduidig waarneembaar (LEW-NGA)
	Leeuwarden-101	1978		1	2013	1	<1	Niet eenduidig waarneembaar (LEW-NGA) Ingesloten sinds 1991. Wordt mogelijk heropend.
	Nijega	1970		5	2013	5	1	
	Opeinde	1976		7	2013	8	1	Invloed Tietjerk (was NAM, nu VEN) en Ureterp (NAM)
	Opeinde-Zuid	1980		3	2013	3	<1	
Middelburen	1980		3	2013	3	1	Niet eenduidig waarneembaar (OPZ)	

Meetplan	Naam	Start winning	Eind winning	Gemeten bodemdaling [cm]	Jaar meting	Geschatte huidige bodemdaling [cm]	Geschatte toekomstige bodemdaling (P10) [cm]	Opmerkingen
Langezwaag	Langezwaag	2012		<1	2016	1	<2	
Oldelamer	Oldelamer	1993		2	2016	2	<1	
Sonnega-Weststellingwerf	Sonnega-Weststellingwerf	2015		0	2015	<1	<1	Alleen nulmeting gedaan
Blesdijke	Blesdijke	2009		<1	2015	<1	<1	Niet zelfstandig waarneembaar (BLS)
De Blesse	De Blesse	1999		3	2015	4	1	
Vinkega-De Hoeve-Noordwolde-Weststellingwerf	Vinkega	2011		2	2017	2	3	
	De Hoeve	2012		<1	2017	<1	<1	Niet eenduidig waarneembaar (VKG)
	Weststellingwerf	1997	2005	1	2017	1	<1	Niet eenduidig waarneembaar
	Noordwolde	1997		<1	2017	<1	<1	Niet eenduidig waarneembaar
Diever-Eesveen	Nijensleek	2000	2006	2	2017	2	<1	
	Eesveen-01	2015		<1	2017	<1	<1	
	Eesveen-02			0	2017	<1	<2	Alleen nulmeting gedaan
	Diever	2015		<1	2018	<1	3	GPS meting in 2018
Grolloo	Grolloo	2009		<1	2014	<1	<1	RWS data, niet eenduidig waarneembaar (te weinig daling).
Geesbrug	Geesbrug	2009		<1	2017	1	5	Niet eenduidig waarneembaar. Finale daling waarschijnlijk overschatting.



Figuur 3-2 Overzicht geschatte huidige bodemdaling door Vermilion gaswinning in Friesland, Overijssel en Drenthe. (Contouren in blauw 20, 60, 100, ... mm) In de bijlagen zijn zoom-in kaarten te vinden.



Figuur 3-3 Overzicht geschatte toekomstige bodemdaling door Vermilion gaswinning in Friesland, Overijssel en Drenthe. (Contouren in blauw 20, 40, 60, ... mm.) In de bijlagen zijn zoom-in kaarten te vinden.

3.3 Overzicht geplande metingen

Hieronder een overzicht van de geplande bodemdalingsmetingen. De metingen maken deel uit van een meetplan dat jaarlijks met SodM wordt besproken, en door SodM goedgekeurd wordt. Als gevolg daarvan is de planning voor metingen na 2018 nog notioneel.

Tabel 3-3 Geplande dalingsmetingen (onderstreepte voorkomens zijn producerend)

Meetplan	Voorkomen(s)	Gepland
Leeuwarden-West	Harlingen Bovenkrijt, <u>Ried</u> , Franeker	<i>Waterpassing in 2018</i>
Langezwaag	<u>Langezwaag</u>	<i>GPS in 2018</i>
Geesbrug	<u>Geesbrug</u>	GPS in 2018, waterpassing in 2019
Grolloo	<u>Grolloo</u>	<i>Waterpassing in 2019</i>
Leeuwarden-Oost/Oosterend	<u>Grouw, Rauwerd, Warga, Wartena, Bozum, Leeuwarden-Nijega, Eernewoude, Leeuwarden-101, Middelburen, Opeinde, Opeinde-Zuid</u>	<i>Waterpassing in 2018, zal ook Tietjerk omvatten</i>
Noordwolde, Weststellingwerf, Vinkega, De Hoeve	<u>Noordwolde, Weststellingwerf, Vinkega, De Hoeve</u>	GPS meting in 2020, waterpassing in 2022
Diever, Eesveen	<u>Diever, Eesveen</u> , Nijensleek	GPS in 2019
Zuidwal	<u>Zuidwal</u>	GPS meting in 2022
De Blesse/Blesdijke	<u>Sonnega-Weststellingwerf</u>	<i>Waterpassing in 2019</i>
	<u>Blesdijke</u>	
	<u>De Blesse</u>	

4 Verklarende woordenlijst

Term	Verklaring	Besproken in par.
Aquifer	Watervoerend deel van het reservoir. Dat kan naast en/of onder het gasvoerende deel gelegen zijn.	2.4
C_m	Uniaxiale compactie-coëfficiënt; mate van samendrukbaarheid van het gesteente (eenheid: 1/bar).	2.4
Compactie	Het samendrukken van het reservoirgesteente als door productie de druk van de vloeistof in de poriën daalt, en onvoldoende tegenwicht geeft aan het gewicht van bovenliggende gesteenten.	2.1.2
Compressibiliteit	Samendrukbaarheid	2.4
Depletie	Drukdaling door het onttrekken van gas (of olie of water) uit reservoirgesteente	2.1.1
EZ	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat	
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat	
GPS	Global Positioning System: systeem voor plaats- en hoogtebepaling met behulp van satellieten	2.2.3
GWC	Gas-water contact diepte (in m onder NAP)	
InSAR	Satelliet-radar methode om bodemdaling te bepalen	2.2.4
Kern	Gesteentemonster uit de ondergrond verkregen bij het boren van een put	
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut	
Meetnet	Verzameling van meetpunten waarvan de bodemdaling wordt bepaald. Maakt deel uit van een meetplan.	2.2.1
Meetplan	Plan dat aangeeft wanneer welke bodemdalingsmeting moet worden uitgevoerd. Voor elk gasvoorkomen is er een meetplan, Soms zijn meerdere voorkomens in één meetplan gegroepeerd. Meetplannen worden jaarlijks opgesteld in overleg met SodM.	2.3
meetregister	Rapportage van een bodemdalingsmeting	2.3
NAM	Nederlandse Aardolie Maatschappij	
Permeabiliteit	De mate waarin een (poreuze) vaste stof een andere stof (gas of vloeistof) doorlaat. Indien een materiaal een andere stof niet doorlaat heet het materiaal voor die stof impermeabel.	
Porositeit	Verhouding tussen het poriënvolume en het totale volume van het gesteente.	
Probabilistische berekening	Rekenmethode waarbij expliciet rekening gehouden wordt met onzekerheden, mogelijk door expliciet grote aantallen mogelijke situaties ("realisaties") te genereren.	
RD coördinaat	Coördinaten in het topografische kaartmateriaal zijn vermeld in het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting (RD). De auteursrechten en databankrechten zijn voorbehouden aan de Topografische Dienst Kadaster, Emmen, 2006	
Seal	Afsluitende laag bovenop het gesteente dat het gas bevat	
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen	
TCBB	Technische Commissie Bodembeweging	
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek	
VEN	Vermilion Energy Netherlands B.V.	
Vermilion	Vermilion Energy Netherlands B.V.	
Winningsplan	Document waarin, conform de Mijnbouwwet, de plannen van een mijnbouwbedrijf met een bepaald voorkomen (soms meerdere voorkomens) worden uiteengezet. Een door de minister goedgekeurd winningsplan is een voorwaarde voor winning.	2.3

Afkorting	Naam	Meetplan	Start winning	Eind winning	Commentaar
ZDW	Zuidwal	Zuidwal	1988		
HRL-101	Harlingen-101	HRL-101	1995	2005	Onderkrijt-formatie (Lower Cretaceous, LC) Meetplan heette eerst 'Kimsword'
HUC	Harlingen Bovenkrijt	Leeuwarden-West (LEW-W)	1988	2008	Bovenkrijt-formatie (Upper Cretaceous, UC)
FRA	Franeker		1997	2008	Onderkrijt-formatie (Lower Cretaceous, LC)
RID	Ried		1988		
BOZ	Bozum	Leeuwarden-Oost/Oosterend (LEW-O)	1989		
GRW	Grouw		1982		
RWD	Rauwerd		1982		
WRG-WTN	Warga-Wartena		1981		
LEW	Leeuwarden		1970		
ERW	Eernewoude		2012		
LEW-101	Leeuwarden-101		1978		
NGA	Nijega		1970		
OPE	Opeinde		1976		
OPZ	Opeinde-Zuid		1980		
MBN	Middelburen		1980		
LZG	Langezwaag		Langezwaag	2012	
OLR	Oldelamer	Oldelamer	1993		
SOW	Sonnega-Weststellingwerf	Sonnega-Weststellingwerf	2015		Meetnet samengevoegd met BLD.
BLD	Blesdijke	Blesdijke	2009		Meetnet samengevoegd met SOW
BLS	De Blesse	De Blesse	1999		
VKG	Vinkega	Vinkega-De Hoeve-Noordwolde-Weststellingwerf	2011		
DHV	De Hoeve		2012		
WSF	Weststellingwerf		1997		
NWD	Noordwolde		1997		
NSL	Nijensleek	Diever-Eesveen	2000		
ESV	Eesveen-01 Eesveen-02		2015		
DIV	Diever		2015		
GRL	Grolloo	Grolloo	2009		
GSB	Geesbrug	Geesbrug	2009		
TID	Tietjerksteradeel	NAM Noord-Nederland (ref. 12)	1973		Wordt in 2018 opgenomen in meetplan Leeuwarden-Oost
SUW	Suawoude		1973		

5 Referenties

5.1 Algemeen

1. Deltares, *Bodemdalingskaarten*, 2011.
2. TCBB, *Industrieleidraad ter Geodetische bepaling van bodembeweging als gevolg van mijnbouwactiviteiten*, 2014.
3. Geertsma, J.: "A basic theory of subsidence due to reservoir compaction: the homogeneous case", *Verhandelingen van het Koninklijk Nederlands Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap* 28, p. 43, (1973).
4. Geertsma, J. and Van Opstal, G.: "A numerical technique for predicting subsidence above compacting reservoirs, based on the nucleus of strain concept", *Verhandelingen Kon. Ned. Geol. Mijnbouwk. Gen*, Serie 28, p. 63 (1973)
5. G.H.C. van Opstal: "The effect of base-rock rigidity on subsidence due to reservoir compaction". *Proc. 3rd Congress. Int. Soc. Rock Mech.*, Denver Colorado, September 1974, vol 2, part B
6. *Geology of the Netherlands*, Wong et al. (eds), Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 2007 / Amsterdam University Press, 2007
7. *NAP database GeoWeb, Rijkswaterstaat* (<https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/geoweb51/index.html?viewer=NAPinfo>)
8. *BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland*, Alterra, rapport 2387, 2013
9. TCBB, *Jaarverslag*, 2015
10. www.commissiebodemdaling.nl
11. NLOG (www.nlog.nl), website van TNO
12. Nederlands Aardolie Maatschappij, *Bodemdalingsrapport Noord-Nederland*, 2015
13. Commissie Bodemdaling Aardgas Fryslân (<http://www.bodemdalingfryslan.nl>)
14. *Productspecificaties Beheer NAP*, versie 1.1; Data-ICT-Dienst Rijkswaterstaat (RWS-DID) , 2008
15. *Satellite Radar Interferometry, Subsidence Monitoring Techniques*; G. Ketelaar; Springer, 2009
16. *Probability Theory – The Logic of Science*, E.T. Jaynes, Cambridge University Press, 2003
17. "Reexamining Discrete Approximations to Continuous Distributions", *R. Hammond & E. Bickel, Decision Analysis*, vol. 10, p. 6, 2013

5.2 Zuidwal

18. Platform Zuidwal; InSAR Deformatie metingen 2010 – 2013; Hansje Brinker Infrastructure Monitoring; 2013
19. Rapport: Aanvullend geodetisch onderzoek Zuidwal, kenmerk: 0262994.00, Oranjewoud, 2013
20. Winningsplan Zuidwal, Vermilion, 2015. Addendum toegevoegd op 29 september 2016
21. Meetregister bij het meetplan Zuidwal, Rapportage van de GPS-meting Zuidwal 2017, projectnummer 411176; Antea 2017
22. Gaswinning en zoutwinning in de komberging Vlie, TNO rapport kenmerk: TNO 2016 R11298, datum 14 oktober 2016

5.3 Leeuwarden-West, Harlingen-101

23. *Meetregister bij het meetplan Leeuwarden-West, Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2006*, Projectnr. 17690-162833; Oranjewoud, 2006
24. Peilmerkdeling nabij Franeker in de periode 1988-2006; Oranjewoud, 2007
25. PS-InSAR-analyse van de bodemdaling in Noordwest-Friesland; Muntendam-Bos, A.G., Hanssen, R.F., van Thienen-Visser, K., Samieie-Esfahany, S.; TNO report TNO-034-UT-2009-02318/A; 2009
26. Verschillende studies van NGI, o.a. *Harlingen Upper Cretaceous Investigation - Technical Committee. Development of conceptual model for compaction analysis*, NGI (20100377-00-2-R), 2011; en *Revised Chalk Model - Harlingen revised compaction model*, NGI (20120191-01-R) 2013
27. Differentiëestaats Waterpassing 2015 Barradeel-II, Antea, 2015
28. *Vermilion Harlingen Subsidence Study*, SGS Horizon (OGC/NL/HAG/2014/NL30H-VER-001/FINAL), 2014
29. *Meetregister bij het Meetplan Leeuwarden West, Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2015*, projectnummer 405631 6 januari 2016 Antea Group.
30. *GPS Monitorings-Logboek, HRL4, HRL7* (wordt maandelijks geupdate)
31. Meetregister bij het meetplan Harlingen-101; Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2017; projectnummer 412976; Antea 2017

32. *Rapportage controle GNSS monitoringsstations Zweins, HRL4 en HRL7, GNSS-meting 2017; 6e controle meting; Antea, projectnummer 0416338, 2018*

5.4 Leeuwarden-Oost/Oosterend

33. *Winningsplan Leeuwarden-Nijega, Vermilion, 23 maart 2003 (goedgekeurd 8 oktober 2013)*
34. *Meetregister bij het meetplan Leeuwarden-Oost en Oosterend 2013, Antea, rapport 265194, 2014*
35. *Meetregister meetplan Noord-Nederland 2014, NAM doc.nr. EP201507207215, 2015*

5.5 Langezwaag

36. *GPS meting Langezwaag 2015. Rapportage van de 2e GPS herhalingsmeting bij het meetplan Langezwaag; projectnr. 400502; Antea, 2015*
37. *Meetregister bij het Meetplan Langezwaag, Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2016; projectnummer 409875; Antea Group, 2016*

5.6 Oldelamer

38. *Meetregister bij het meetplan Oldelamer, Rapportage waterpassing, Antea projectnummer 413398, 2017*

5.7 De Blesse, Blesdijke, Sonnega-Weststellingwerf

39. *Meetregister bij het meetplan De Blesse, Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2009 t.b.v. Vermilion Oil & Gas Nederlands B.V.; projectnr. 201582, revisie 00; 28 augustus 2009; Antea Group.*
40. *Meetregister bij het meetplan Blesdijke; Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing Blesdijke 2015 t.b.v. Vermilion Oil & Gas Nederlands B.V.; projectnr. 266891, revisie 00; 12 mei 2015; Antea Group.*
41. *Meetregister bij het meetplan Sonnega; Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing Sonnega 2015 t.b.v. Vermilion Oil & Gas Nederlands B.V.; projectnr. 266891, revisie 01; 24 november 2015; Antea Group.*
42. *Blesdijke Winningsplan, kenmerk ET/EM/8194738, d.d. 22-Juli-2008*
43. *De Blesse Winningsplan, kenmerk ET/EM/9081625*, d.d. 7-mei-2009*

5.8 Noordwolde, Weststellingwerf, Vinkega, De Hoeve, Nijensleek en Eesveen, Diever

44. *Winningsplan Eesveen, Vermilion, 2017*
45. *Analyse GPS meting Diever, Vermilion, 2017*
46. *GPS meting Vinkega en De Hoeve; Rapportage van de 4e GPS signaleringsmeting (2017) projectnummer 413261; Antea 2017*
47. *Meetregister bij het meetplan Noordwolde, Weststellingwerf, Vinkega en De Hoeve; Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2017; projectnummer 413261; Antea, 2017*
48. *Meetregister bij het meetplan Diever – Eesveen; Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2017; projectnummer 416753; Antea 2018*
49. *Rapportage van de 2e GPS herhalingsmeting behorend bij het meetplan Diever 2018; projectnummer 0416753; Antea 2018*

5.9 Grolloo

50. *Meetregister bij het meetplan "Grolloo"; Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2009; projectnr. 187739; Antea,2010*

5.10 Geesbrug

51. *Meetregister bij het meetplan "Geesbrug"; Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2009; projectnr. 187740; Antea, 2010*
52. *GPS meting Geesbrug 2014; Rapportage van de 3e GPS herhalingsmeting bij het meetplan "Geesbrug"; projectnr.269740; Antea 2015, Antea*
53. *GPS meting Geesbrug 2016; Rapportage van de 4e GPS herhalingsmeting behorend bij het meetplan Geesbrug; projectnummer 0411228; Antea 2017*

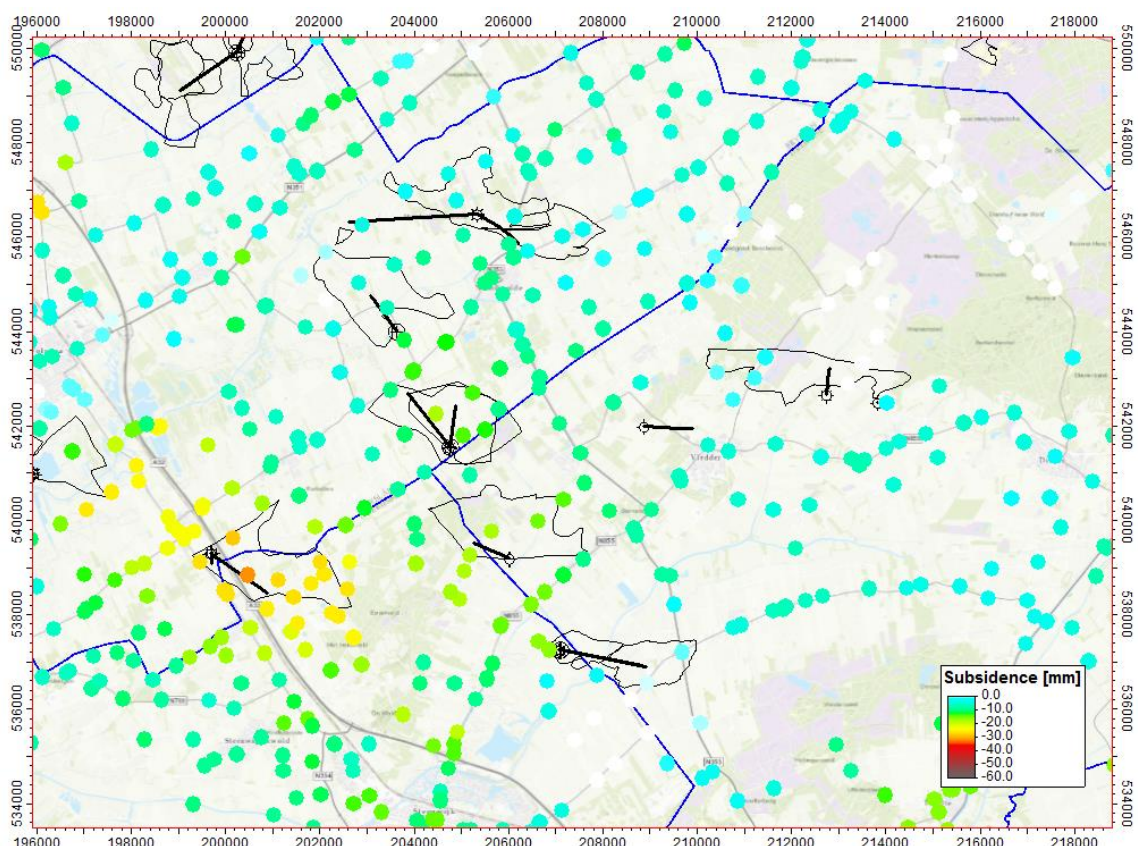
6 Bijlage: Gebruik van data uit NAP-Info

Bij deze rapportage zijn ook gegevens uit de NAP database van Rijkswaterstaat gebruikt (ref. 7). Het doel daarvan is om meer regionaal te kunnen kijken, ook buiten de meetplannen, en om verder terug in de tijd te kunnen kijken, om zo gedrag van peilmerken voor en tijdens de gaswinning met elkaar te kunnen vergelijken.

In de Rijkswaterstaat database worden met name waterpassingen opgeslagen, met niet steeds dezelfde aansluitpunten. Ook de meetnetten zullen niet steeds voldoen aan die van de leidraad voor bodemdalingen t.g.v mijnbouw (ref. 2). Om die reden zijn de resultaten niet geschikt voor heel precieze vaststelling van de bodemdaling, maar wel voor meer regionale en kwalitatieve analyses.

Bij de grafieken van de gegevens die uit de database komen zijn geen verdere correcties toegepast, afgezien van het feit dat histories voor en na de NAP herziening in 2004 opgelijnd zijn. Aangezien we hier niet in absolute NAP hoogtes geïnteresseerd zijn, maar in relatieve, wordt de verticale oorsprong zo gekozen dat de waarde nul is rond de aanvang van de mijnbouw. Een voorbeeld van zo'n grafiek is Figuur 14-2.

Van de database zijn ook regionale kaarten gemaakt. Omdat er ruis zit in de data, en omdat lang niet alle peilmerken over de hele periode aanwezig zijn, wordt op ieder peilmerkpunt een schatting van de daling gemaakt uit de mediaan van de vijf dichtstbijzijnde peilmerken waarmee wel het hele tijdsbereik kan worden bestreken. De kleuren op de kaarten zijn interpolaties. Om deze redenen, en de bovengenoemde, moeten de kaarten dus **niet** gebruikt worden voor een precieze vaststelling van bodemdaling. Ze zijn bedoeld voor meer regionale en kwalitatieve analyses. Een voorbeeld van zo'n kaart is Figuur 6-1.



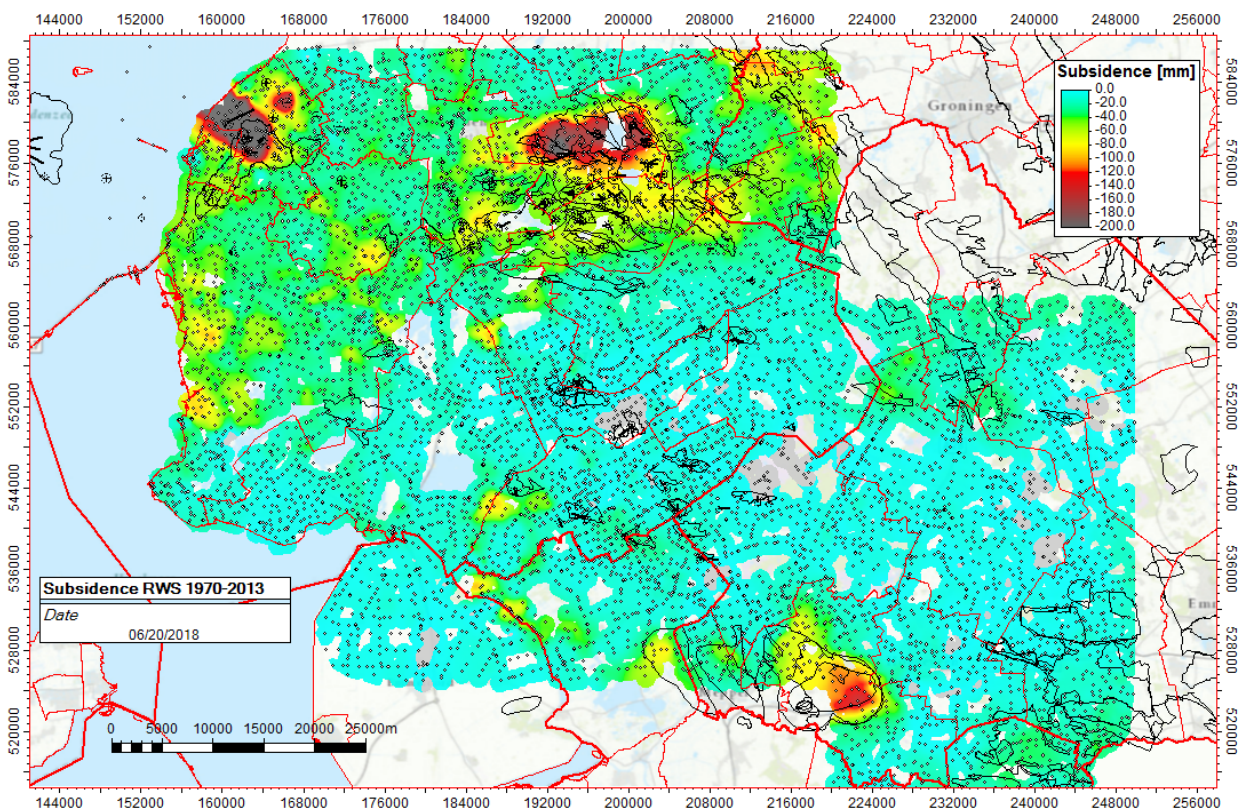
Figuur 6-1 Rijkswaterstaat data 1970-2013 gekarteerd, hier voor het gebied van Noordwolde tot Eesveen. Grijs punten is er geen gemeten bodemdaling. Waar de kaart doorzichtig is, zijn onvoldoende metingen. Zichtbaar is de bodemdaling van met name De Blesse. [Voor ieder punt is de mediaan uit de dichtstbij- liggende punten voor de hele periode 1970-2013 genomen. Dat beperkt de ruis, en geeft een overzicht ondanks het feit dat de verschillende peilmerken steeds over verschillende periodes gemeten zijn. Maar het levert wel beperkingen op bij kwantitatief gebruik van de kaart; zie tekst.] Deze figuur is een ingezoomde versie van Figuur 7-1.

7 Bijlage: Autonome bodemdaling

Bij het vaststellen van de hoeveelheid autonome bodemdaling (zie paragraaf 2.1.3) zijn er twee bronnen. Ten eerste kunnen we kijken naar de verschillen in daling tussen een diep en een ondiep gefundeerd peilmerk die heel dicht bij elkaar liggen. Dat is, onder andere, gedaan in het meetplan Leeuwarden-West. (ref. 24). Het resultaat daarvan was een schatting van 0.9mm/j autonome daling (ref. 29).

Een tweede bron van informatie zijn de regionale kaarten die op basis van de RWS database gemaakt kunnen worden (ref. 7). Zo'n kaart is hieronder afgebeeld. De kaart geeft de peilmerkdaling van 1970-2013 weer over het Vermilion gebied in Noord-Nederland. De bodemdaling door gaswinning is duidelijk te zien. Daarnaast zien we een achtergrond-patroon dat van geelgroen in het Noordwesten naar lichtblauw in het zuidoosten veranderd. Dit geeft een regionale trend aan in de autonome daling, van de hierboven besproken 0.9 mm/j bij Franeker tot een veel lager getal in zuidoost Friesland en Noordwest Drenthe.

De ruwe schattingen uit deze kaart zijn gebruikt bij de analyses om de mogelijke impact van de autonome daling aan te geven. Gezien de lage waarden is het duidelijk dat dit een belangrijker rol speelt in de oude winningen (bijv. Leeuwarden-Oost) dan in de meer recente (Vinkega).



Figuur 7-1 Rijkswaterstaat data 1970-2013 gekarteerd, hier voor het hele Vermilion gebied in Friesland, Overijssel en Drenthe. Bij grijze punten is de gemeten bodemdaling nul. Waar de kaart doorzichtig is, zijn onvoldoende metingen (bijv. omdat er een meer is). Zichtbaar is de bodemdaling van met name Barradeel, Harlingen Bovenkrijt en Tietjerk in het noorden, en De Wijk in het zuiden. Voor ieder punt is de mediaan uit de dichtstbij-iggende punten voor de hele periode 1970-2013 genomen. Dat beperkt de ruis, en geeft een overzicht ondanks het feit dat de verschillende peilmerken steeds over verschillende periodes gemeten zijn. Maar het levert wel beperkingen op bij kwantitatief gebruik van de kaart; zie tekst.

8 Bijlage: Overzicht modelleringsparameters

Vermilion heeft het Geertsma-van Opstal model (ref. 3, 4, 5) verwerkt in Matlab, in navolging van TNO. In dit model wordt de vorm van het reservoir c.q. het gebied waarbinnen de druk daalt middels een polygoon ingevoerd. De compactie is dan lineair in druk en hoogte. Deze berekening wordt in het algemeen probabilistisch uitgevoerd, zoals in de tekst besproken. Om het model worden alle lagen boven het gasvoorkomen als één elastisch, uniform, geheel beschouwd.

In tabel 1 worden de gebruikte gegevens weergegeven voor de compactie- en bodemdalingsberekeningen. De waarden gestoeld op ervaring van Vermilion en van de NAM (ref. 12). Na metingen wordt de uitkomst gecalibreerd. Maar omdat er onzekerheden zijn in meerdere parameters, is het in het algemeen niet mogelijk om de parameterwaarden te bepalen uit de meetuitkomsten; meerdere parametercombinaties kunnen tot dezelfde uitkomsten leiden.

Voor een aantal (oudere) voorkomens is de bodemdalingsberekening op een eenvoudiger, niet-probabilistische manier gedaan. Deze berekening zal vervangen worden wanneer dat relevant wordt (typisch bij een hercalibratie).

Voor het Harlingen Boven Krijt gasvoorkomen wordt de compactie anders uitgerekend. Voor het Zuidwal voorkomen is een 3D drukveld meegenomen (zie paragraaf 2.4.3).

Tabel 1: Invoergegevens compactie- & bodemdalingsmodel. Aan de L/M/H waarden worden in het algemeen de kansen 30%/40%/30% toegekend. In individuele gevallen kan specifieke informatie beschikbaar zijn om een andere keus te maken.

		Waarden			
Naam		L	M	H	Commentaar
Depletie-gebied		Diverse vormen, om de mogelijkheid van depletie in watervoerend deel mee te nemen.			
Begindruk		Conform drukmeting			
Einddruk		Range die de kans op premature uitwatering weerspiegelt.			
Poisson Ratio		0.25			
Diepte		Diepte GWC. Meestal lage onzekerheid			
Oedometrische Compressibiliteit [1/bar]	Vlieland	9.00E-06	1.50E-05	2.25E-05	Zuidwal heeft een kleinere Cm
	Zechstein	2.50E-06	4.50E-06	7.00E-06	
	Rotliegend	4.00E-06	6.00E-06	8.00E-06	
Depleterende hoogte		Netto hoogte in de put, met onzekerheidsmarge conform geologische analyse			
Rigid Basement Factor	Vlieland	1.05	1.2	1.25	Voor Zuidwal wordt een kleinere RB genomen
	Overig	1.01	1.05	1.1	
Tau [y]		2	3	5	Zuidwal heeft een grotere Tau
Productie Profiel		Onzekerheid in productieprofiel wordt meegenomen.			

9 Bijlage: Meetplan 'Zuidwal'

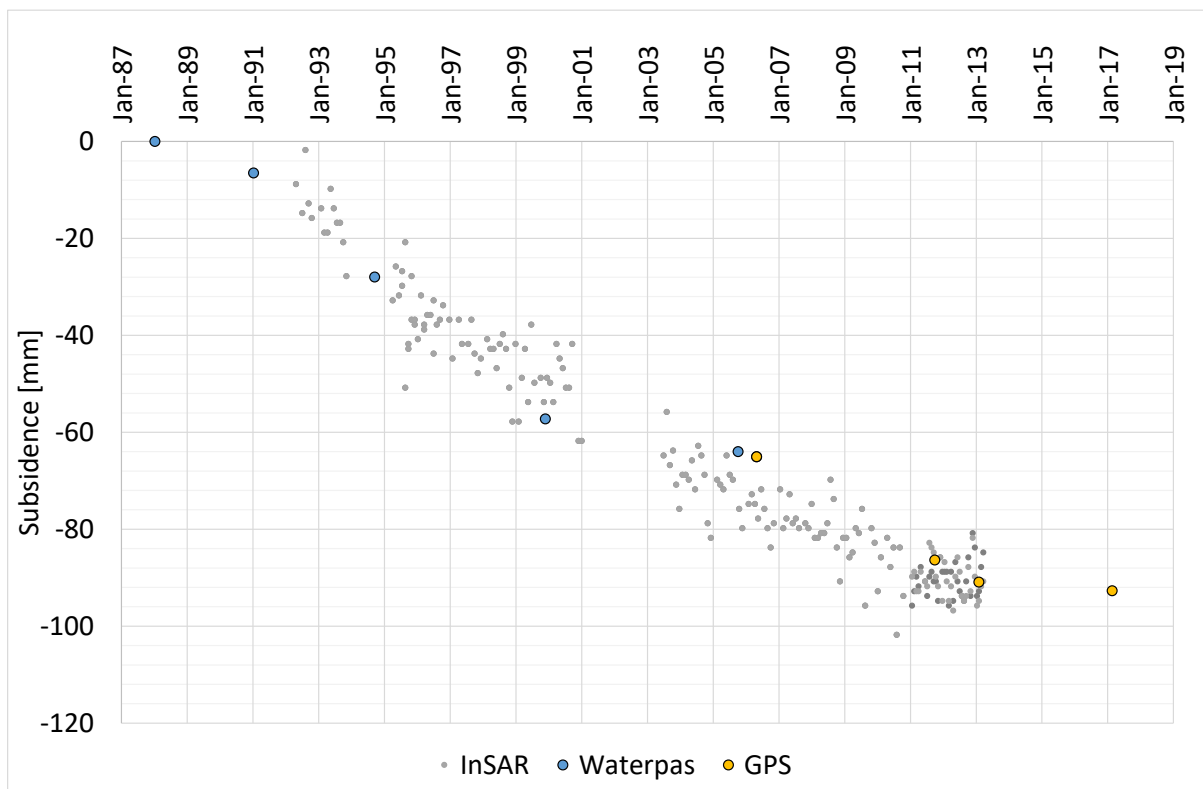
Winning uit Zuidwal vindt plaats sinds 1988. De productie komt uit de Vlieland zandsteen.

Op het Zuidwal (ZDW) platform is in het verleden aan de hand van verschillende technieken de beweging ten opzichte van het vaste land gemeten. In de eerste fase gebeurde dat met waterpassing, gedeeltelijk met peilmerken ook op het wad. De nulmetingen voor het Zuidwal voorkomen is uitgevoerd in 1988. Herhalingsmetingen zijn uitgevoerd in 1991, 1994 en 1999 en 2005 op de op het platform aanwezige peilmerken. Dit waren alle waterpasmetingen.

In 2006 is voor het eerst gebruik gemaakt van een GPS meting ter vervanging van de waterpasmetingen. De GPS herhalingsmetingen zijn uitgevoerd in 2011, 2013 en 2017. Specifiek is aandacht besteed aan de aansluiting van de GPS- op de waterpas-metingen (ref. 19).

Tenslotte is er voor de periode 1992 tot 2013 is aan de hand van drie series van beschikbare radarbeelden door Hansje Brinker een InSAR analyse uitgevoerd (ref. 18).

Zoals in de figuur hieronder te zien is vallen beide metingen nog binnen elkaars meetonzekerheid van ongeveer 5-10 mm. Bij de interpretatie en vergelijking van deze resultaten dient met deze onzekerheid rekening te worden gehouden. Desalniettemin geeft de InSAR een nuttige aanvulling, met name omdat de meting een meer continu karakter heeft.

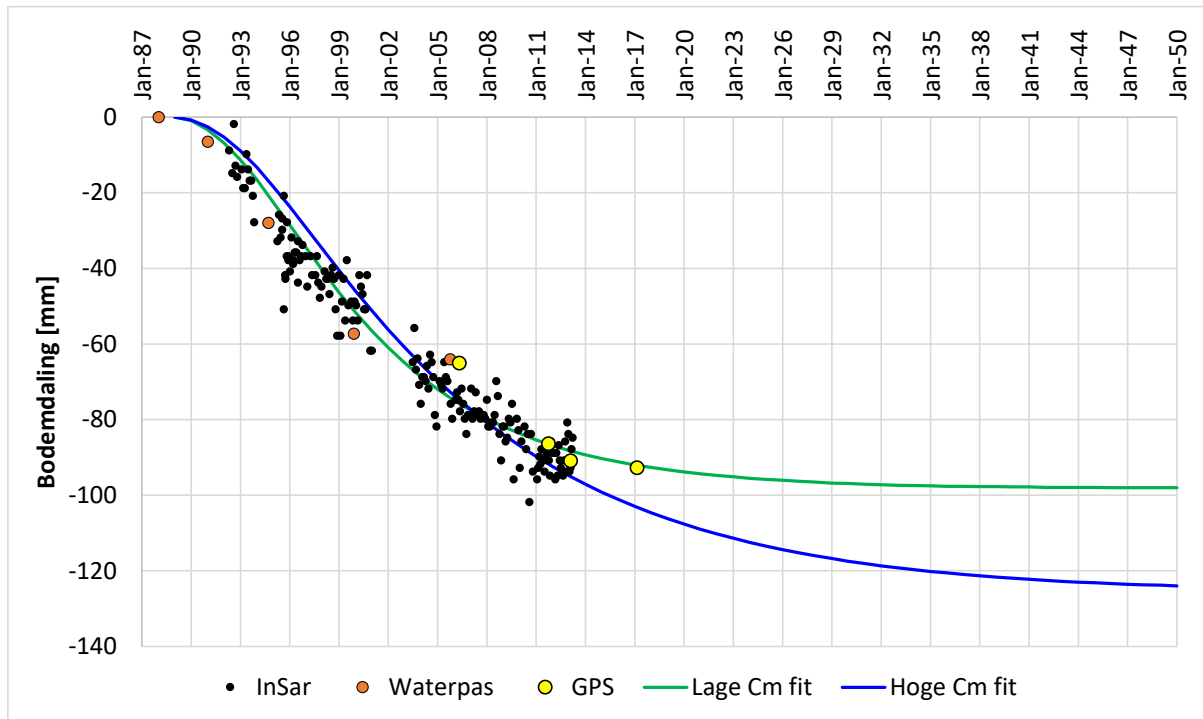


Figuur 9-1 Vergelijking InSAR resultaten (kleine puntjes) met waterpas- (blauw) en GPS resultaten (oranje). Het laatste punt is de uitkomst van de meest recente GPS meting, in 2017.

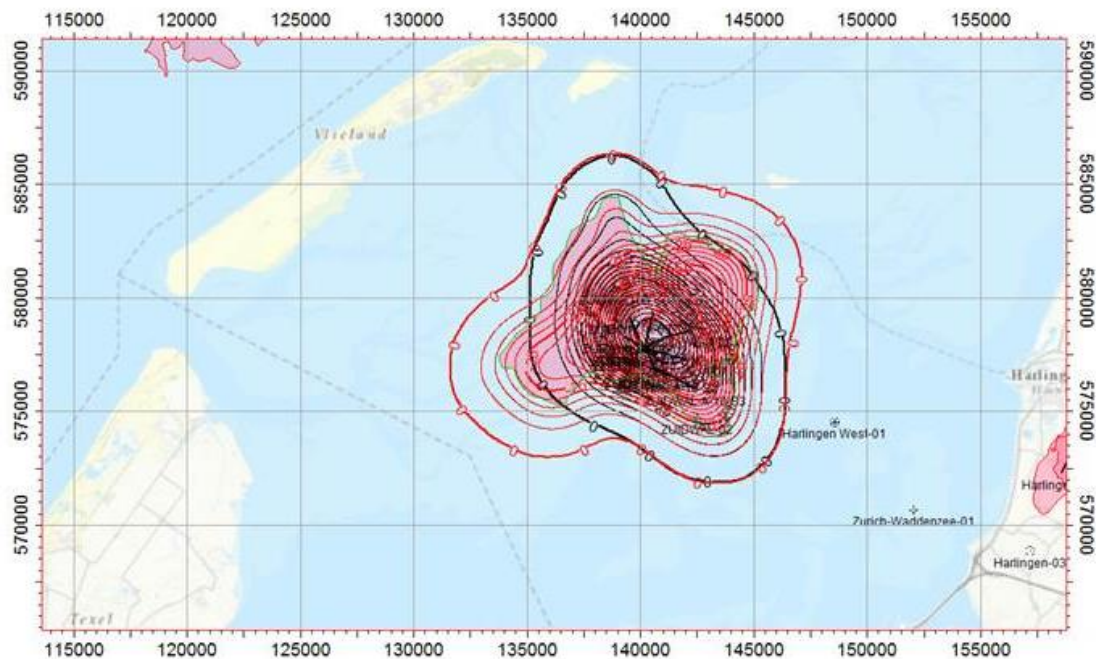
In een studie in 2015 is een serie modellen gemaakt die de waargenomen bodemdaling reproduceren (ref. 20). Die geven een maximale bodemdaling van 100-140 mm. Hierbij is rekening gehouden met het feit dat de locatie van maximale bodemdaling, namelijk het diepste punt van de kom, niet precies op de locatie van het platform ligt. Het totale volume van de dalingskom bedraagt 2.5-5.0 miljoen m³. In lijn met het feit dat het overgrote deel van de Zuidwal productie in het verleden ligt (in de periode 1987-1994), verder in het verleden dan de waargenomen tijdsvertraging, is de snelheid waarmee de bodemdaling plaatsvindt al substantieel lager geworden, en zal in de toekomst nog verder afnemen.

In 2017 is de meest recente GPS meting uitgevoerd (ref. 21). De schatting voor de cumulatieve daling is op basis van deze meting 89 mm. Dat klopt goed met eerdere modelberekeningen, waarbij de einddaling op 10-14 cm werd geschat. Er is dan ook geen reden deze berekeningen bij te stellen.

Omdat er geen vlakdekkende waterpassing is uitgevoerd, is er onzekerheid over de grootte van de dalingskom. Die onzekerheid is Figuur 9-3 geschetst.



Figuur 9-2 Vergelijking InSAR resultaten (kleine zwarte puntjes) met waterpas- (oranje) en GPS resultaten (geel). De blauwe en groene lijnen zijn twee model scenario's, met verschillende stijfheid en traagheid, die de gemeten data reproduceren (uit ref. 20).



Figuur 9-3: Voorspelde eindsituatie van de bodemdaling, in relatie tot het vasteland van Friesland en Vlieland. De bodemdaling is beperkt tot de Waddenzee. Er zijn twee krommen getekend (in rood en zwart) die de onzekerheid over de grootte van het depletiegebied weergeven. Voor de komvolume berekening is de rode kom gebruikt.

Om de impact op de Waddenzee in te schatten moeten de veranderingen in komvolume vergeleken worden met de natuurlijke suppletie-capaciteit van het getijdebekken waarin Zuidwal zich bevindt (het 'Vlie' bekken). Het resultaat daarvan is een kom-gemiddelde daling.

De schatting van de impact van deze kom-gemiddelde daling is vervolgens gemaakt aan de hand van een methode zoals opgezet door TNO (ref. 22). Hierbij worden de volgende uitgangspunten gebruikt:

- De natuurlijke suppletie capaciteit van het Vlie bekken is 5 mm/jaar.
- De relatieve zeespiegelstijging is 2.2 mm/jaar en neemt toe tot 4 mm/jaar in 2050, dit is inclusief de autonome daling.
- Frisia zoutmijn operatie in het Havenmond gebied heeft een bodemdaling gebruiksruimte van 0.99 mm/jaar.
- De totale bodemdaling gebruiksruimte voor gaswinning is gesteld op 0.42 mm/jaar.

De impact van Zuidwal blijkt dan meer dan een orde-grootte kleiner dan de natuurlijke suppletie-capaciteit te zijn (ref. 20). Gezien het feit dat uit de metingen blijkt dat de dalingssnelheid is afgenomen, en gezien het feit dat de productiehoeveelheden al jaren laag zijn, en nog verder zullen afnemen in de komende jaren, worden schadelijke effecten op natuur en milieu in de Waddenzee dus niet verwacht.

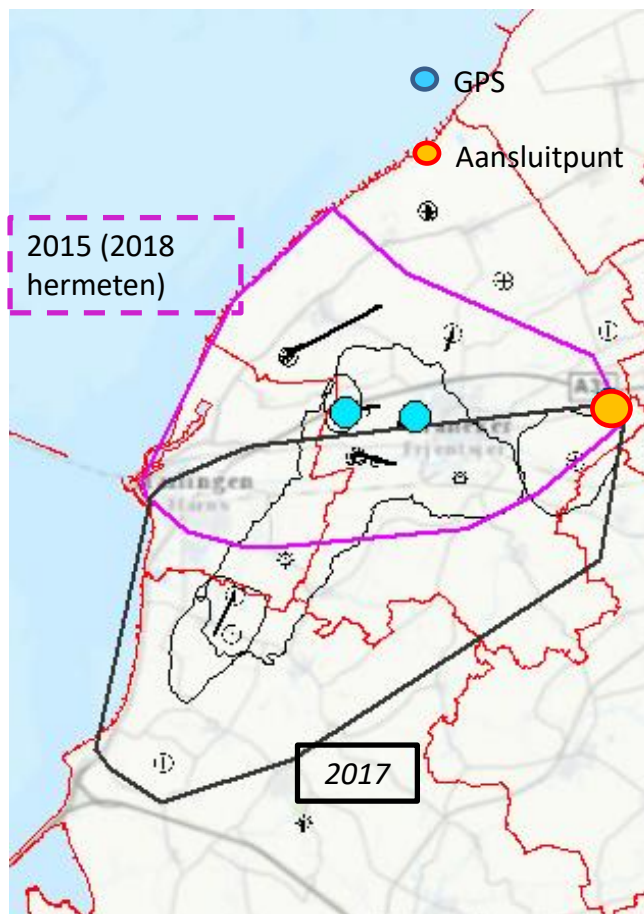
10 Bijlage: Meetplan 'Leeuwarden-West'

Het meetplan Leeuwarden-West meet de bodemdaling t.g.v. vooral de winning uit het Harlingen Bovenkrijt (HUC) voorkomen. De productie in dit voorkomen is gestopt in 2008. Maar door de specifieke aard van het krijtgesteente waarin het gas zich bevond in het HUC voorkomen, vertoont de bodemdaling door deze winning een uitzonderlijk groot na-ijl effect. Bovendien vindt er ten noorden van het HUC voorkomen zoutwinning plaats, uit de concessie Barradeel, met een vergelijkbare hoeveelheid bodemdaling tot gevolg.

Onder dit meetplan vallen ook de voorkomens Franeker (uitgeproduceerd sinds 2008) en Ried (producerend). Deze voorkomens zitten in de Vlieland zandsteenlaag waaruit ook elders (bijvoorbeeld uit Leeuwarden-Nijega) wordt geproduceerd. Deze zandlaag vertoont het anomale naijl-effect niet. Bovendien is de Vlieland zandlaag hier zeer dun (4 m). Daardoor veroorzaakt de productie uit Ried (en vroeger die uit Franeker) nauwelijks (< 1 cm) bodemdaling. Naast de veel diepere kom van HUC zijn de dalingen van Ried en Franeker niet waarneembaar.

De laatste waterpassing van dit meetplan vond plaats in 2015 (ref. 29). Naast de waterpassing, vindt er continue GPS monitoring plaats bij HRL-04 (Warnst, Herbaijum) en HRL-07 (Miedleane, Herbaijum). Het meetnet heeft overlap met het meetnet Harlingen/101-Kimswerd. Ook de waterpassingen die voor de zoutwinning Barradeel zijn gedaan (ref. 27) overlappen met dit meetnet, en zijn relevant omdat de dalingskom door zoutwinning overlap heeft met de dalingskom door gaswinning. In het verleden zijn ook InSAR (satelliet) metingen gebruikt om de dalingskom in beeld te brengen (ref. 28).

Hieronder een bespreking van de resultaten van de waterpassing uit 2015, en van de andere gerelateerde metingen sinds 2013.



Figuur 10-1 Schematische kaart om het dekkingsgebied van het meetplan Leeuwarden-West aangegeven (paars). Het meetplan Harlingen-101/Kimswerd is in zwart weergegeven. De blauwe punten zijn de permanente GPS locaties, het oranje punt geeft het referentie- of aansluitpunt weer bij Zweins (ref. 32).

Modelering Harlingen Boven-Krijt

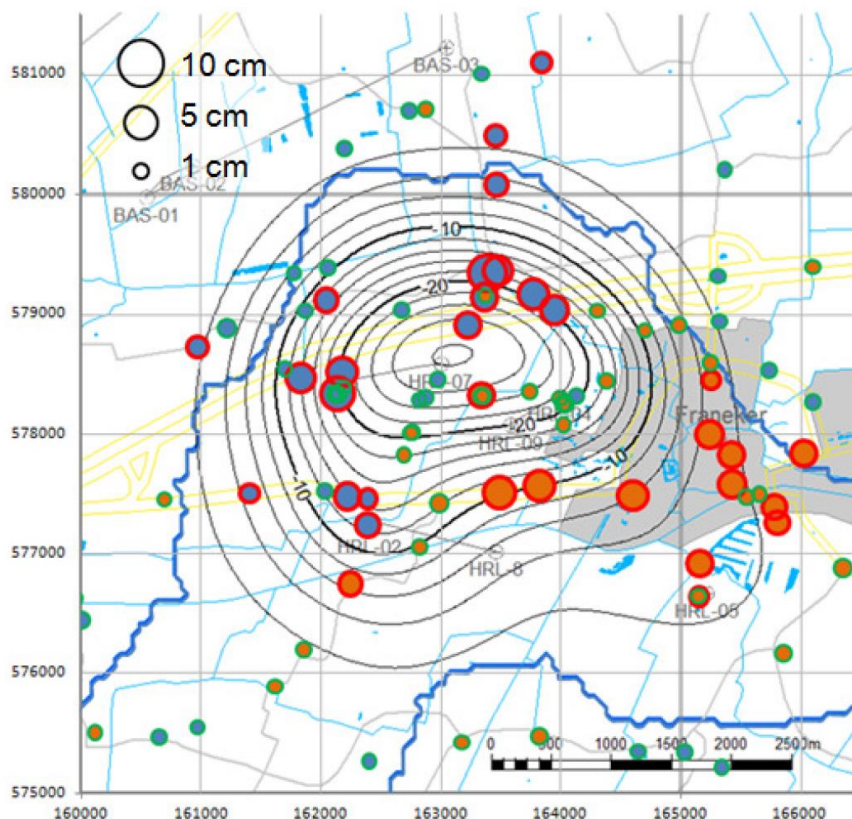
Het Harlingen-Bovenkrijt voorkomen bestaat uit een sterk afwijkend gesteente (krijt). Hier is het mechanisme van compactie anders dan in zandsteen of carbonaat. Met name kruip (*creep*) speelt een grotere rol, en ook de verslapping van het gesteente bij toenemende drukkaling is extremer. Omdat de conventionele aanpak bij dit type gesteente niet voldoet, is er dan ook extra onderzoek gedaan naar de bodemdaling boven dit voorkomen. Het doel van deze studie was om de compactie in dit reservoir te onderzoeken en een quantitative methodiek te ontwikkelen die de bodemdaling kan verklaren en beschrijven. Er is een bijdrage geleverd door Norwegian Geotechnical Institute (NGI), SGS Horizon (SGSH), Universiteit van Luik en door Golder Associates. Het onderzoek werd begeleid door een technische commissie bestaande uit deskundigen van SodM, NGI & TNO.

Bij de studie zijn gesteente-monsters geanalyseerd, en aan een groot aantal experimenten blootgesteld. Er is een nieuw 3D- ondergrondsmodel gemaakt. Het drukverloop over de tijd in dit 3D model is berekend, en gecalibreerd aan de metingen. Uit een combinatie van dit drukmodel, de gesteenteverdeling, en de gesteente-eigenschappen is uiteindelijk een aan de bodemdalings-metingen gecalibreerd model gemaakt. Voor de berekening van bodemdaling uit compactie wordt de methode van Opstal/Geertsma gebruikt (ref. 35).

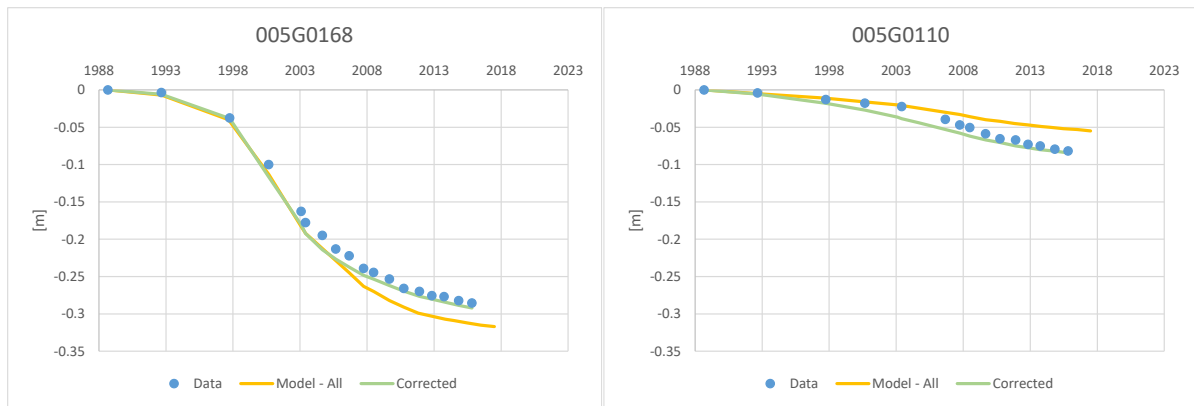
De studie leverden dalingsvoorspellingen op, gecalibreerd aan metingen t/m 2013. Deze studie is opgeleverd in 2014, via een rapport van SGSH (ref. 28), en publiek gemaakt en o.a. via NLOG te verkrijgen (ref. 11).

Waterpassing 2015 & correctie

De resultaten van de waterpassing uit 2015 zijn in lijn met de bevindingen in het SGSH rapport. Het SGSH Model paste niet precies op de waterpassing 2013 ('misfit'). Het voorspelt iets te weinig daling bij Franeker en iets teveel daling in het diepste punt van de kom. Deze misfit werd in de waterpassing bevestigd. Daarom zijn er bij de duiding van de meest recente waterpassing (2015) kleine correcties toegepast om die misfit te corrigeren. Dat levert een kom op die iets minder diep is rond Herbaijum, maar iets dieper rond Franeker. De dalingskom wordt dus iets minder diep, maar iets breder. Het komvolume blijft nagenoeg gelijk.

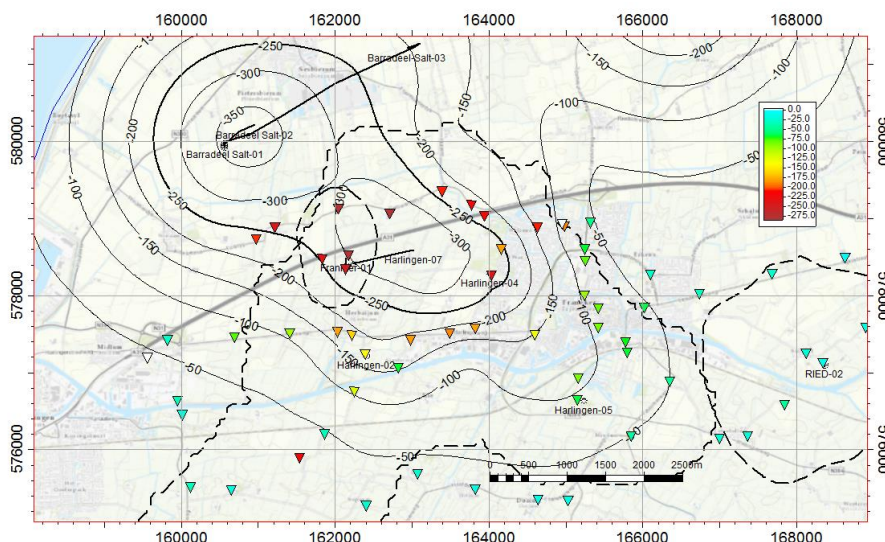


Figuur 10-2 Door SGSH opgemerkte discrepanties tussen model en metingen (blauw: te veel daling in model oranje: te weinig daling in model). Dit is Figuur 6.8 uit ref. 28.



Figuur 10-3 Illustratie van de impact van de correctie aan de hand van twee peilmerken. Links in Hêrbaijum, rechts bij Franeker. Het SGSH model in oranje, de correctie in groen, waterpasdata in blauw.

In de onderstaande kaart wordt de calibratie geïllustreerd. De getoonde peilmerken zijn die met data over de hele periode 1988-2015. Dat is een klein deel van de volledige set peilmerken. Voor de andere, later geplaatste, peilmerken is steeds gecalibreerd aan de periode die voor dat peilmerk relevant is. De kaart illustreert ook hoe ook de zout-daling meegenomen is: de metingen maken immers geen onderscheid, en meten alleen het totaal van alle oorzaken samen.



Figuur 10-4 Kaart van bodemdaling 1988-2015, in mm. Getoond is de modeldaling, en de metingen die data 1988-2015 hebben (driehoeken). Voor de calibratie moeten alle oorzaken meegenomen worden: zout, gas en autonoom, en dat totaal is dan ook wat de kaart laat zien. Contourinterval 50 mm.

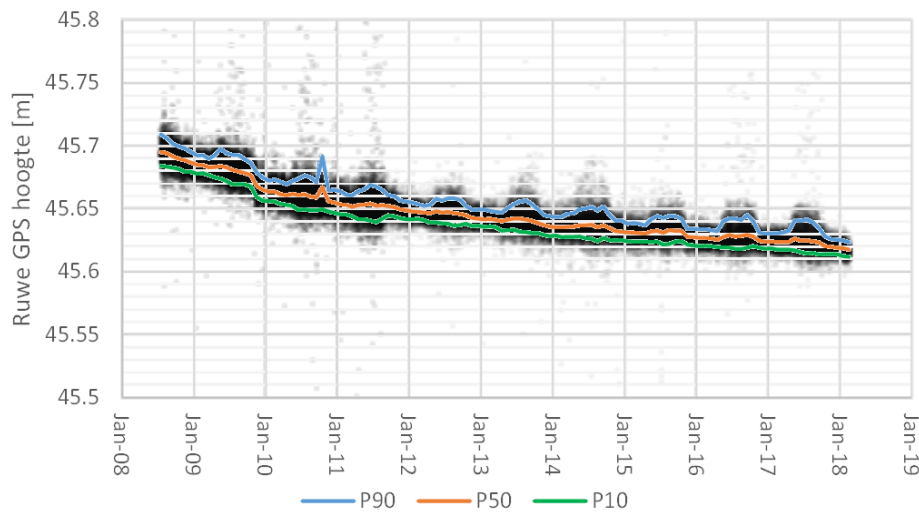
Continue GPS metingen

Naast de waterpassing, is er ook gekeken naar de GPS data die bij de putlocaties HRL-04 en HRL-07 gemeten wordt. Als we naar die data kijken (Figuur 10-5), dan zit er redelijk wat ruis op. De ruis is bovendien seizoensafhankelijk. Dat maakt het nodig om statistische bewerkingen op de data toe te passen (bijv. een mediaan-filter).

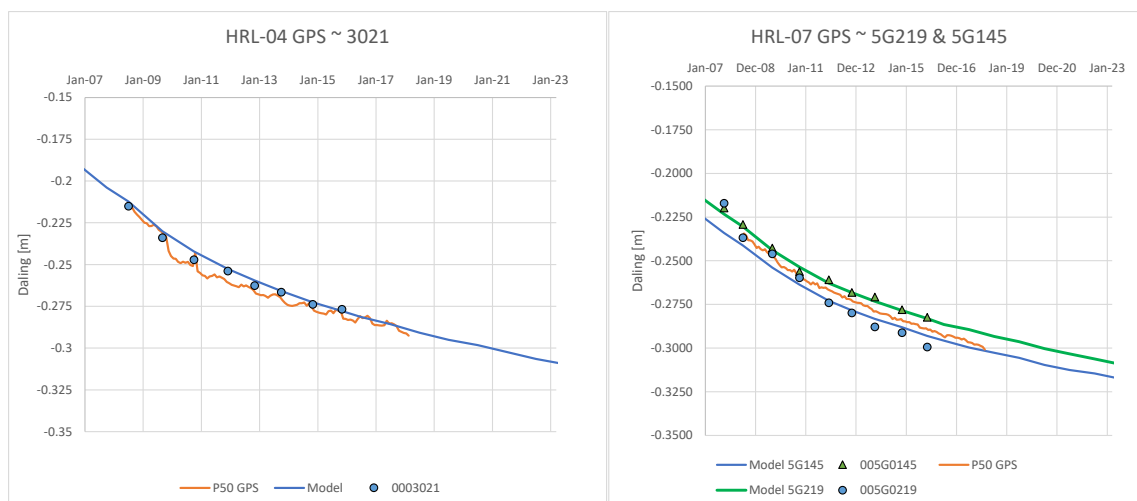
Opgemerkt kan worden dat de GPS peilmerken niet diep gefundeerd zijn, en dus ook autonome daling zullen vertonen. De GPS stations zijn geplaatst in 2008, dus na beëindiging van de gaswinning. Ze vertonen dus alleen na-ijl-daling ("creep").

Ook de GPS metingen zijn in lijn met de modelvoorspellingen. Ze laten een langzaam verminderende dalingsnelheid zien.

GPS HRL-04



Figuur 10-5 Grafische weergave van de GPS metingen bij de putlocatie HRL-04. De zwarte puntjes zijn de meetdata. Gezien de ruis in de data, is voor de interpretatie de mediaan-gefilterde data gebruikt ("P50").



Figuur 10-6 Vergelijking van de permanente GPS metingen met de modellen. Getoond wordt de mediaan-gefilterde GPS data ("P50"), en de waterpassingen die nabij die punten zijn uitgevoerd.

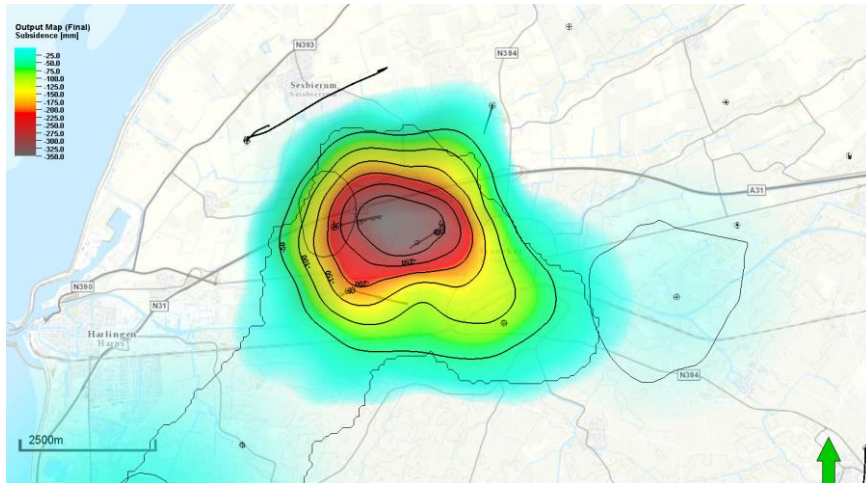
Drukmetingen

Naast bodemdalingmetingen, zijn er ook drukmetingen uitgevoerd. Een van de door SGSH gesignaleerde onzekerheden was de mogelijkheid dat door druk-vereffening binnen het HUC voorkomen er locaties zouden zijn waar ook na 2008 de druk zou dalen (met primaire bodemdaling tot gevolg). Maar de metingen laten zien dat het drukherstel in het Harlingen (Bovenkrijt) gasvoorkomen wat sneller gaat dan verwacht; in alle putten stijgt de druk en er is geen aanwijzing voor lokale drukkaling door equilibratie.

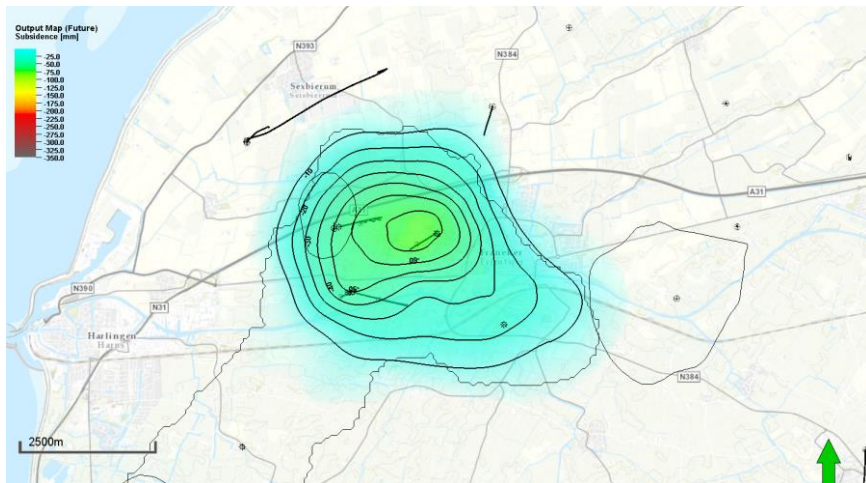
Conclusies

We kunnen dus concluderen dat de metingen waterpassingen in 2015 en de GPS metingen 2013-2018 goed in overeenstemming zijn met het SGSH model uit 2014 (dat was gemaakt o.b.v. data t/m 2013). Er is een kleine correctie aangebracht om een misfit te corrigeren die al door SGSH gesignaleerd was. Er wordt een gasdaling verwacht ~ 35 cm in diepste punt van de kom, waarvan nog ~7 cm gasdaling te gaan is.

De volgende waterpassing vindt plaats in 2018, zowel door RWS als door Vermilion



Figuur 10-7 Verwachte gasdaling 1988-2050, in mm. Op het diepste punt wordt uiteindelijk ~35 cm gasdaling verwacht. Contourinterval 50 mm. Het kommetje dat linksonder zichtbaar is, is het gevolg van Harlingen-101 (zie Hoofdstuk 11).



Figuur 10-8 Verwachte gasdaling 2015-2050, in mm. Op het diepste punt wordt nog ~7 cm gasdaling verwacht. Contourinterval 10 mm.

11 Bijlage: Meetplan 'Harlingen-101/Kimswerd'

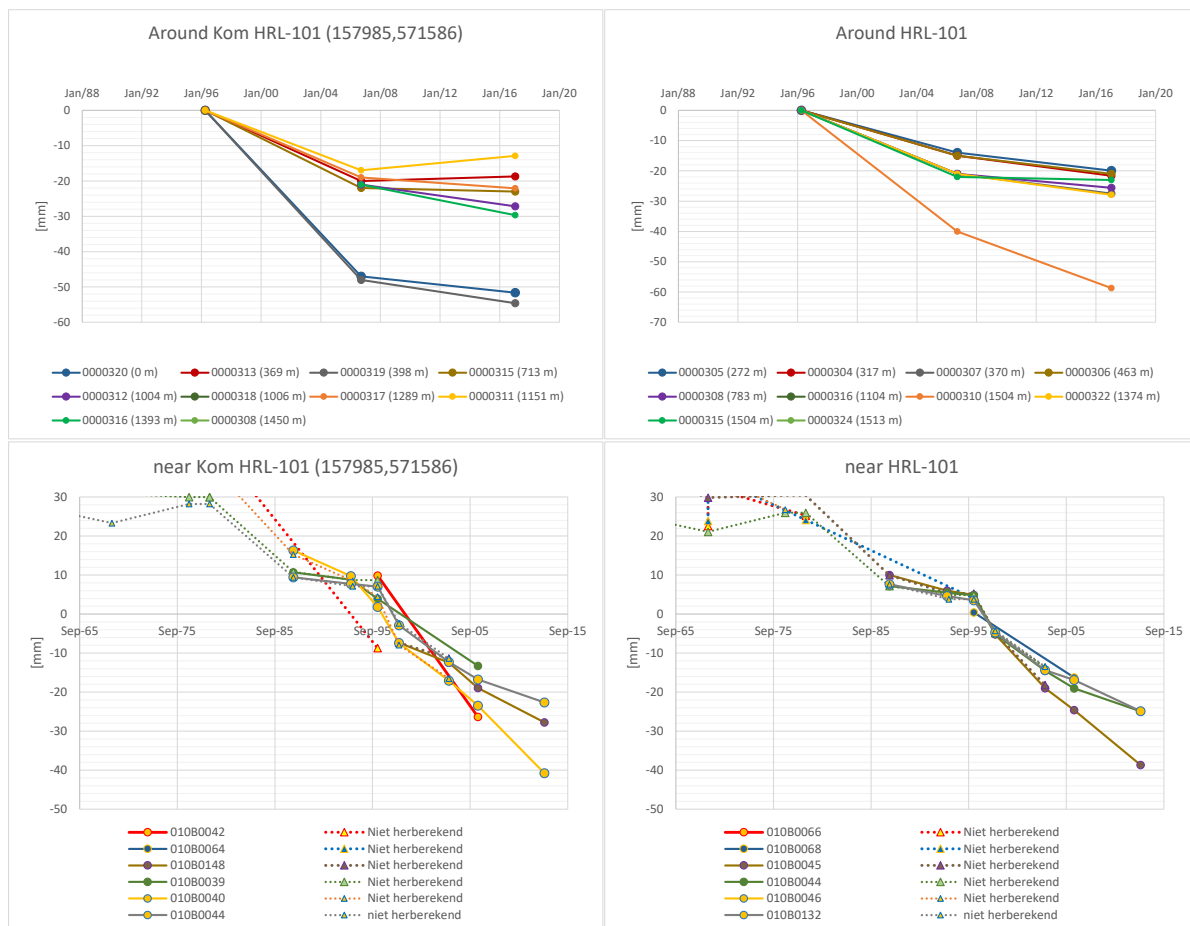
Het meetplan 'Harlingen-101/Kimswerd' meet de bodemdaling t.g.v. de winning uit het voorkomen Harlingen-101. De productie uit dit Onderkrijt-voorkomen vond plaats van 1996-2005.

De waterpassing geeft geen heel duidelijk beeld van de dalingskom. Er zijn een relatief groot aantal peilmerken die, met name in de periode 1996-2006 een afwijkende daling te zien geven.

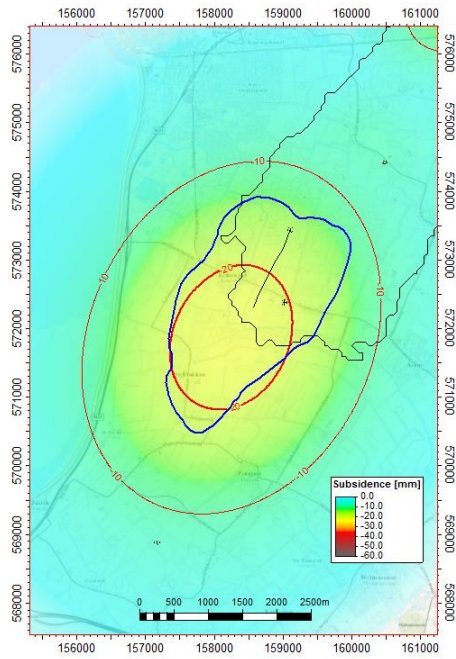
T.o.v. de vorige waterpassing, in 2006, is er nog enkele mm extra daling te zien. Dat geldt ook voor een aantal van de peilmerken die in de periode 1996-2006 een grote daling lieten zien (zie bijv. Figuur 11-1, links). De geringe daling na 2006 is, gezien het na-ijl-effect, conform verwachting.

Het diepste punt van de kom wordt geschat op 3.7 cm. Er wordt een autonome daling van 0.7 mm/j in rekening gebracht (vergelijk Leeuwarden-West, en zie Figuur 11-1 en Figuur 7-1). Dat geeft 2.3 cm voor de gasdaling.

Er wordt nauwelijks nog meetbare toekomstige gas-daling in dit gebied verwacht omdat de productie al meer dan 10 jaar gestopt is.



Figuur 11-1 Daling van de peilmerken in het diepste punt van de HRL-101 dalingskom (links) en bij de putlocatie (rechts), mm. De spreiding in peilmerk-gedrag (bijv. '0000310' in het rechterplaatje) is duidelijk. De grafieken boven komen uit het meetregister (ref. 31), de grafieken onder uit de RWS database (ref. 7). Die laatste laten zien dat de peilmerken al daalden voor de gaswinning begon (1996), dus dat een significant deel van de daling autonoom is.



Figuur 11-2 Geschatte huidige bodemdaling in het Harlingen-101 gebied, mm. Het voorkomen is zichtbaar in blauw. In de noordoosthoek is net de rand van de Harlingen-Bovenkrijt dalingskom te zien.

12 Bijlage: Meetplan ‘Leeuwarden-Oost/Oosterend’

Het meetplan ‘Leeuwarden-Oost/Oosterend’ bestrijkt een reeks voorkomens die produceren sinds de jaren 70. Het overgrote deel van die productie ligt voor de meeste voorkomens al jaren in het verleden; de putten produceren weliswaar nog steeds, maar met lage productiesnelheden.

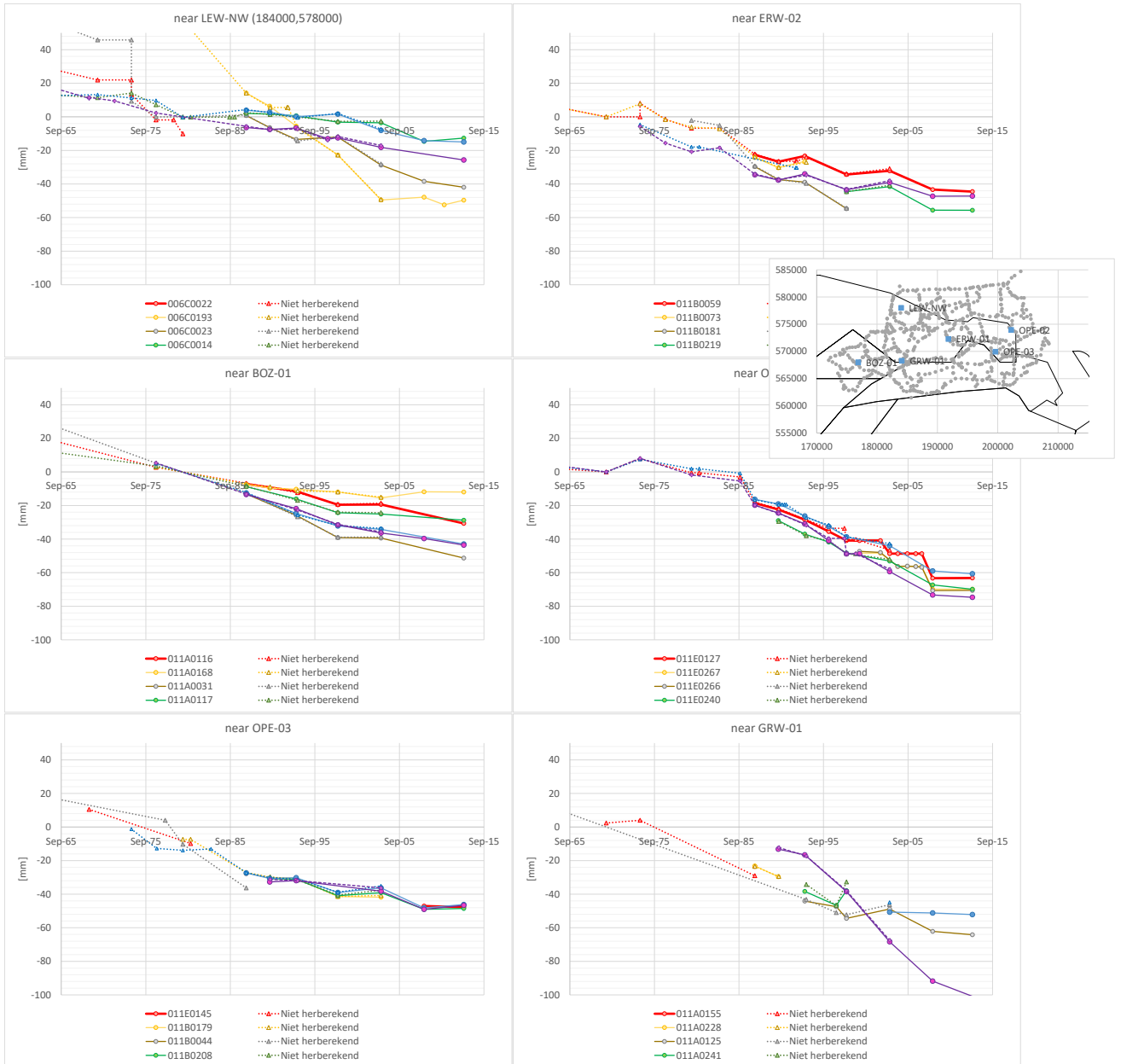
In de jaren 70 waren de standaarden voor bodemdalingsmetingen niet dezelfde als nu. Bovendien zijn niet alle peilmerken die toen aanwezig waren, nog steeds bruikbaar. Tenslotte zijn er in dit gebied ook een aantal natuurgebieden. Dat maakt dat de dichtheid van bodemdalingsinformatie in dit gebied lager is dan elders. Omdat er ook heterogeniteiten in de ondiepe bodemopbouw zitten, vertonen de bodemdalingsmetingen redelijk wat “ruis”, i.e. lokaal veroorzaakte variaties.

De voorkomens in dit gebied liggen dicht bij elkaar, deels overlappen ze elkaar. Omdat winningen vaak kort na elkaar gestart zijn, is het gevolg dat de bijdragen van individuele voorkomens moeilijk te scheiden zijn.

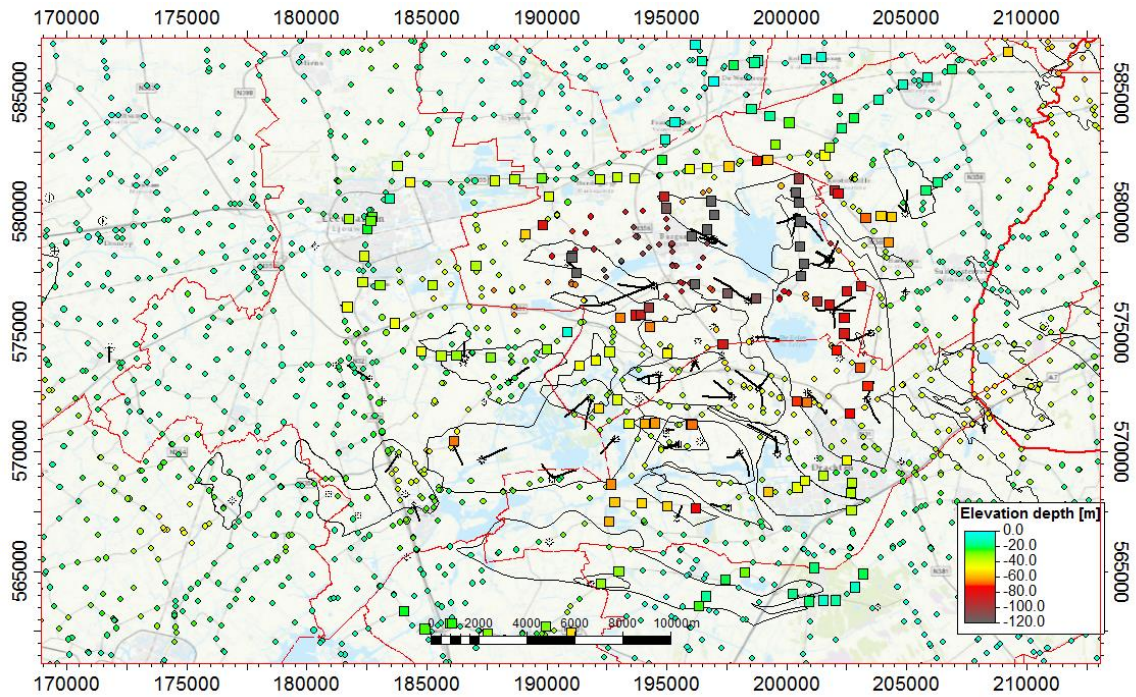
Het meetplan ‘Leeuwarden-Oost/Oosterend’ is in 2013 voor het laatst gewaterpast (ref. 34). Naast dit meetregister is er ook naar de data van NAM (ref. 35) en Rijkswaterstaat gekeken (ref. 7).

In de grafieken hieronder zijn dalingsdata op een aantal locaties weergegeven om een indicatie te geven (de bron is steeds Rijkswaterstaat ref. 7). Daarnaast is een kaart weergegeven, op basis van dezelfde data. Die dataset heeft het voordeel dat het mogelijk is over de randen van de Vermilion gebieden heen te kijken, om zo met name een betere inschatting te maken van de overlap met de NAM dalingskommen.

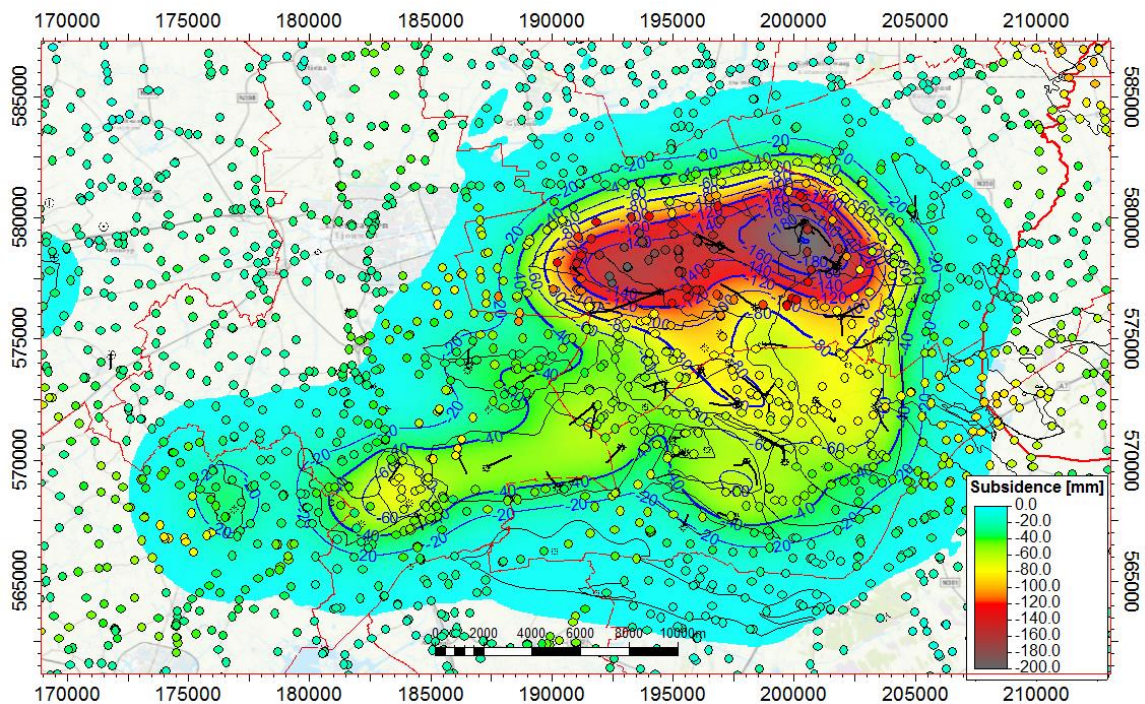
Uit deze data blijkt een bodemdaling in het gebied van het Leeuwarden-Oost/Oosterend meetplan van 6-9 cm in het oosten, en 3-6 cm in het westen. Aan de randen van het meetplan in het oosten en met name het noordoosten zijn grotere waarden in de totale bodemdaling door overlap met dalingskommen van NAM voorkomens (Tietjerksteradeel-Rotliegend en Suawoude, en Ureterp; ref. 12).



Figuur 12-1 Voorbeelden van dalingsdata in het Leeuwarden-Oost gebied. (De locatie van de punten is op de inzet weergegeven.) De bron van de data is de RWS database (ref. 7).



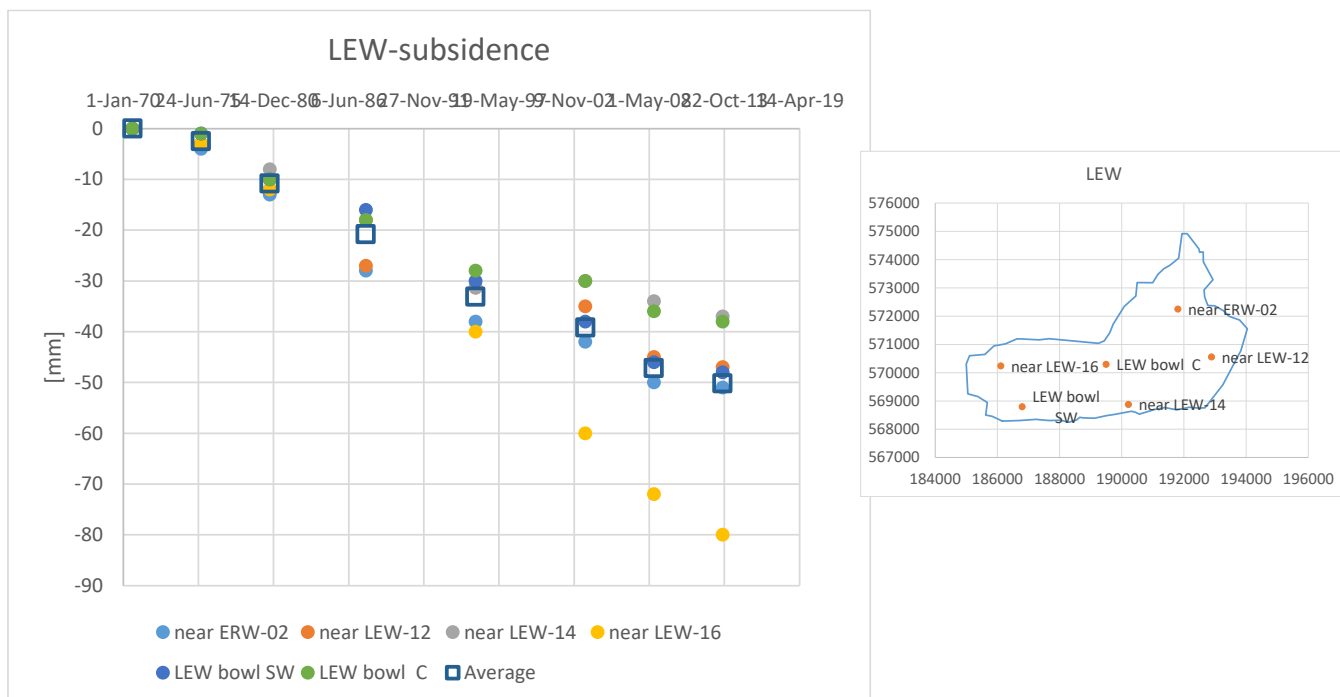
Figuur 12-2 Overzicht van de dalingsmetingen in het Leeuwarden-Oost gebied, mm. RWS data als kleine cirkels, data uit het meetplan Leeuwarden-Oost/Oosterend als vierkanten. KrUISjes geven de punten uit het meetplan waar geen data over de volle periode (1970-2013) beschikbaar is.



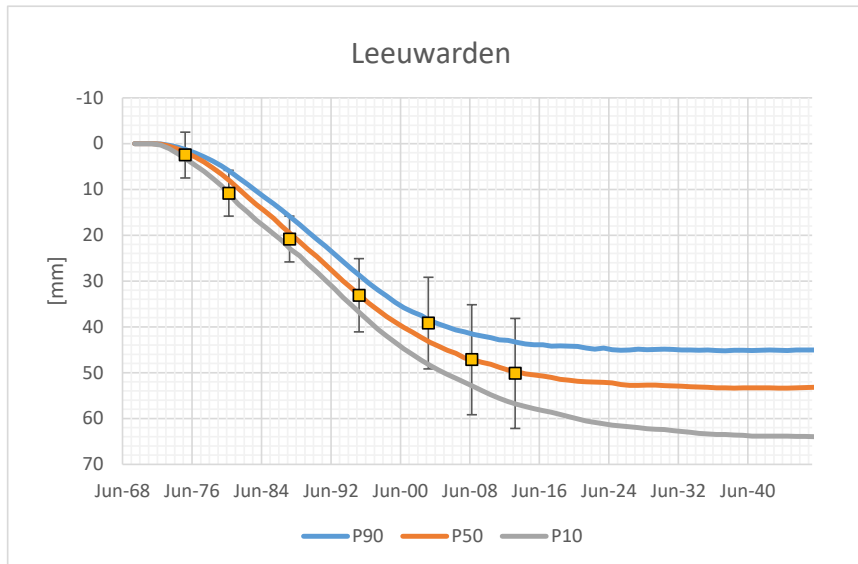
Figuur 12-3 Overzicht van de geschatte huidige daling in het Leeuwarden-Oost gebied door gaswinnings van Vermilion, mm. RWS data 1970-2013 als kleine cirkels; contouren in blauw 20, 40, 60... mm. De NAM voorkomens Ureterp, Marum, etc., zijn niet meegenomen; daarom is er geen overeenstemming te verwachten aan de oostrand van het getoonde gebied (ruwweg ten oosten van de lijn X-RD = 202000).

De overeenstemming tussen metingen en model is imperfect zowel in ruimte als tijd. Mogelijke oorzaken zijn gelegen in de dataset, zoals boven beschreven, maar ook in ondergronds-onzekerheden, zowel in gesteente-parameters, als in de precieze vorm en dikte van de voorkomens. Door de vele overlappende deelkommen is het niet mogelijk om de parameters van de individuele voorkomens precies te matchen.

In de figuur hieronder is een voorbeeld gegeven van een dalingsprognose, in dit geval voor het Leeuwarden voorkomen. Voor andere locaties zal de vorm van de curves vergelijkbaar zijn (omdat de productiecurves vergelijkbaar zijn), met dien verstande dat de verticale schaal steeds anders is.



Figuur 12-4 Tijdsverloop bodemdalingsmetingen op een aantal locaties boven het Leeuwarden-voorkomen. De inzet geeft de locatie van de punten op de kaart,



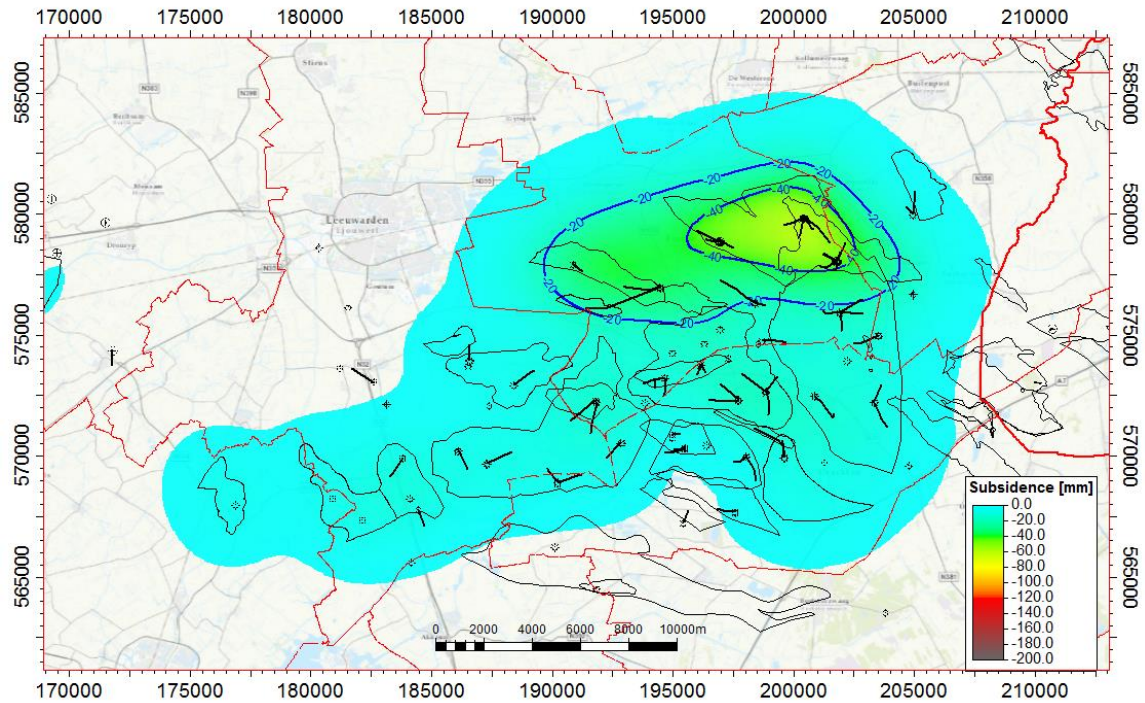
Figuur 12-5 Gemeten (gemiddelde over voorkomen) en berekende daling voor het Leeuwarden (LEW) voorkomen.

De nog verwachte daling is minder dan 2 cm. De nog verwachte productie is zeer gering in verhouding tot de productie in het verleden, maar er is onzekerheid over het tijdsverloop van de daling door onvolkomenheden in de dataset.

De bijdrage van autonome daling is in dit gebied moeilijk vast te stellen, maar zou op basis van regionale kaarten tot 0.5 mm/j kunnen zijn. In de schattingen hierboven is die bijdrage niet meegenomen, de schattingen zijn dus ruim.

Een herhalingswaterpassing is gepland voor 2018.

In deze waterpassing zal ook het gebied van de voorkomens Suawoude en Tietjerksteradeel worden meegenomen. In de hier besproken analyse zijn deze voorkomens nog niet in detail bekeken, omdat de acquisitie daarvoor te laat kwam. Voor zover deze dalingskommen op de kaart getoond worden, is dat gebaseerd op de gegevens en analyses van NAM (ref. 12).



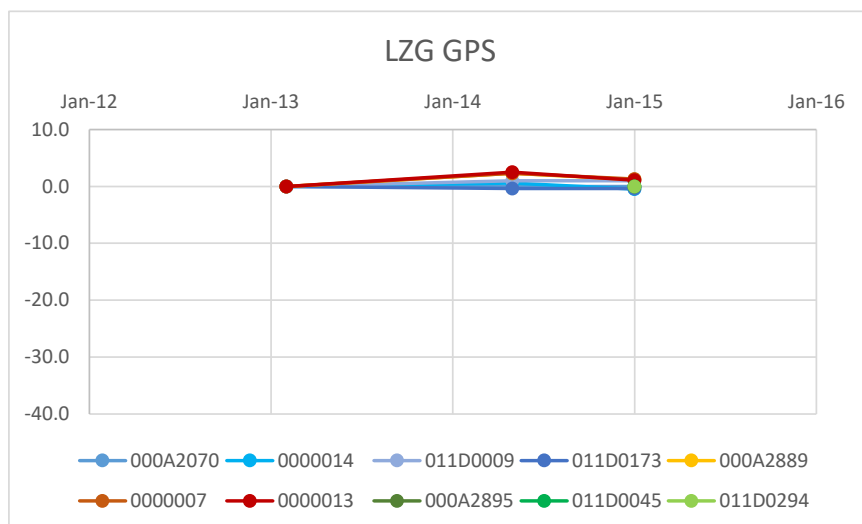
Figuur 12-6 Geschatte toekomstige bodemdaling in het Leeuwarden-Oost gebied, door gaswinningen van Vermilion. Contouren in blauw: 20, 40, ... mm.

13 Bijlage: Meetplan 'Langezwaag'

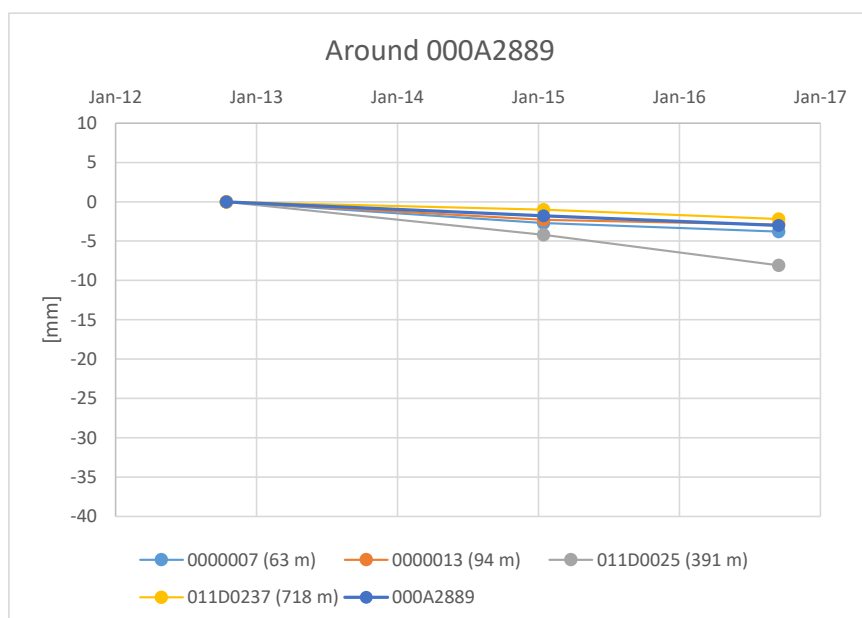
Winning uit Langezwaag vindt plaats sinds 2013. Het overgrote deel van de productie komt uit de Vlieland zandsteen, met kleine bijdragen uit de Zechstein-2 Carbonaat.

In het kader van het meetplan 'Langezwaag' is een GPS meting uitgevoerd begin 2015, en een waterpassing in 2016.

De conclusie uit een analyse van de GPS en waterpas-metingen is dus dat niet zeker is dat er een dalingskom te zien is. De meetwaarden zitten aan de rand van de meetnauwkeurigheid (typisch 0.2-0.5 cm), en de komvorm is niet eenduidig zichtbaar. Als er een dalingskom is, dan heeft die een diepte van 0.2-0.5 cm.



Figuur 13-1 Grafische weergave GPS metingen. Een positieve waarde is een bodemstijging. Data uit ref. 36.



Figuur 13-2 Peilmerkดาลingen rond de Langezwaag locatie (000A2889), uit ref. 37. Dalingen van 0.2-0.4 cm worden gemeten, vergelijkbaar met de meetnauwkeurigheid. (011D0025 lijkt niet stabiel). Data uit ref. 37. Het peilmerk 000A2889 is diep gefundeerd, de anderen niet.

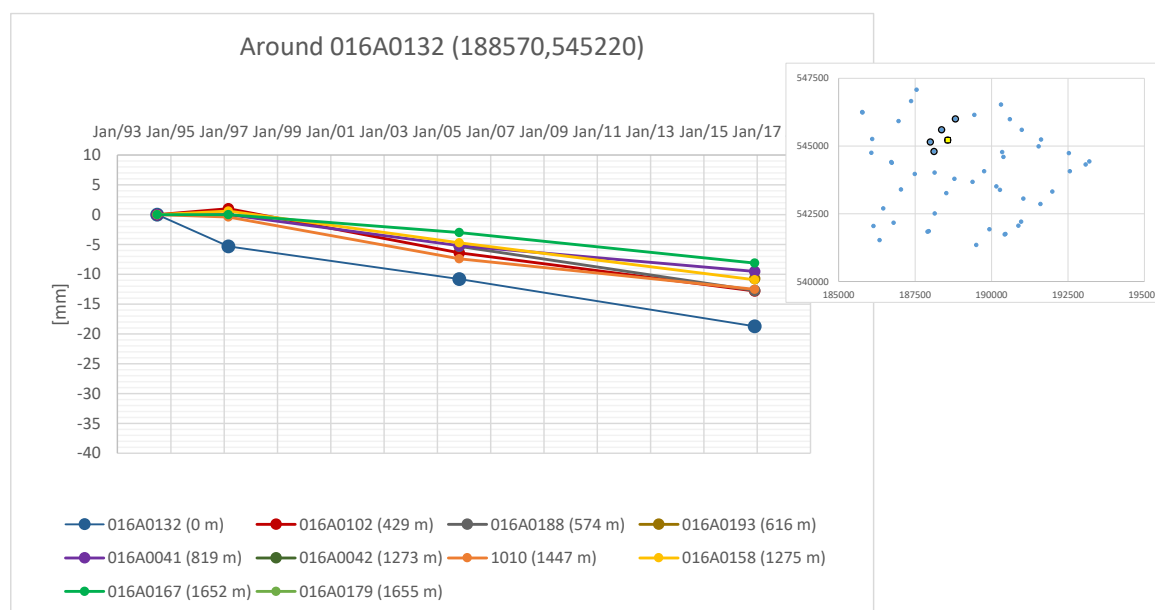
14 Bijlage: Meetplan 'Oldelamer'

Uit het voorkomen Oldelamer wordt sinds 1993 geproduceerd via de put OLR-01, sinds 1999 via de put OLR-02. Productie ligt (tijdelijk) stil sinds 2013 vanwege de druk in de pijpleiding naar Garijp. Het voorkomen Oldelamer is verdeeld over de Vlieland zandsteen en de Zechstein-2 Carbonaat, die hier met elkaar in contact staan.

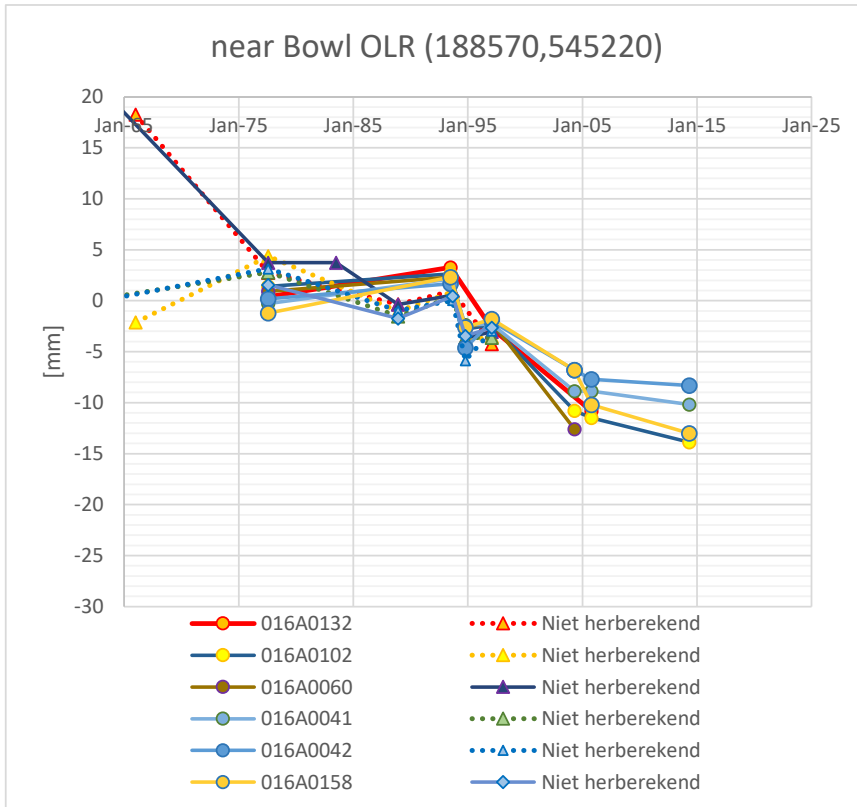
Voor het meetplan Oldelamer (OLR) is eind 2016 een waterpassing uitgevoerd. De data in het meetplan vertoont redelijk veel 'ruis', i.e. de coherentie tussen de dalingen in aangrenzende peilmerken is relatief laag. Ook is het mogelijk dat het aansluitpunt enkele mm's daling heeft vertoond. Dat is meegenomen in de schatting van de diepste daling, net als met het feit dat waarschijnlijk geen van de waterpaspunten precies op het diepste punt ligt.

Ook de RWS database, waarmee we verder terug kunnen kijken in de tijd (zij het met iets minder ruimtelijke resolutie) geeft hetzelfde beeld.

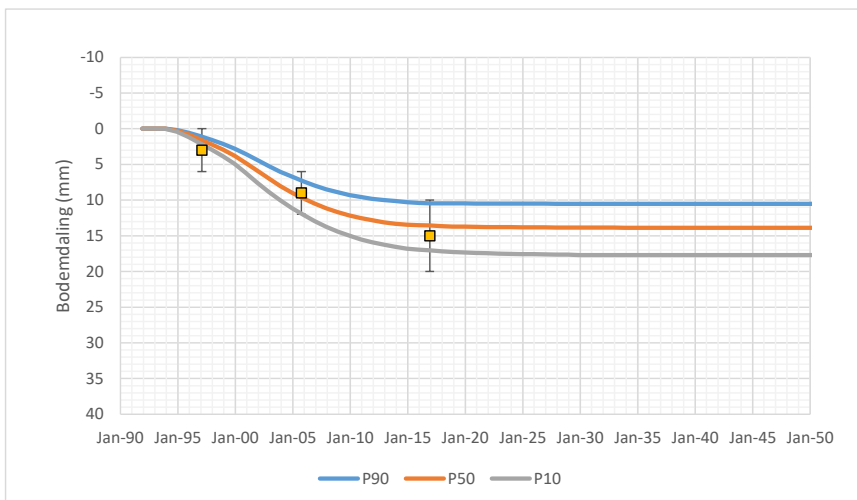
Uiteindelijk wordt een daling van 1 cm tot 2 cm geschat over de periode 1994-2017.



Figuur 14-1 Peilmerken waar de diepste dalingen gezien worden (de inzet geeft de locatie van de weergegeven punten in het meetplan). Het peilmerk 16A132 vertoont in de jaren 1993-1997 afwijkend gedrag, en daalde ook al voordat de gaswinning begon (Figuur 14-2).



Figuur 14-2 Peilmerken rond dezelfde locatie als hierboven, nu data uit de RWS/Geoweb NAP database (ref. 7). De winning is begonnen in 1993.



Figuur 14-3 Model-tijdsverloop gecalibreerd aan de data

15 Bijlage: Meetplannen ‘Sonnega-Weststellingwerf’, ‘Blesdijke’ en ‘De Blesse’

Het ‘De Blesse’ voorkomen (BLS) is ontdekt door de BLS-01 put. Productie in ‘BLS is begonnen in 1999. In 2007 werd de BLS-02 put geboord, en ook uit die put vond productie plaats. Productie ligt (tijdelijk) stil sinds 2013 vanwege de druk in de pijpleiding naar Garijp.

Productie in ‘Blesdijke’ (BLD) is ontdekt door de BLD-01 put in 2008. Productie is in 2009 begonnen. Productie ligt (tijdelijk) stil sinds 2013 vanwege de druk in de pijpleiding naar Garijp.

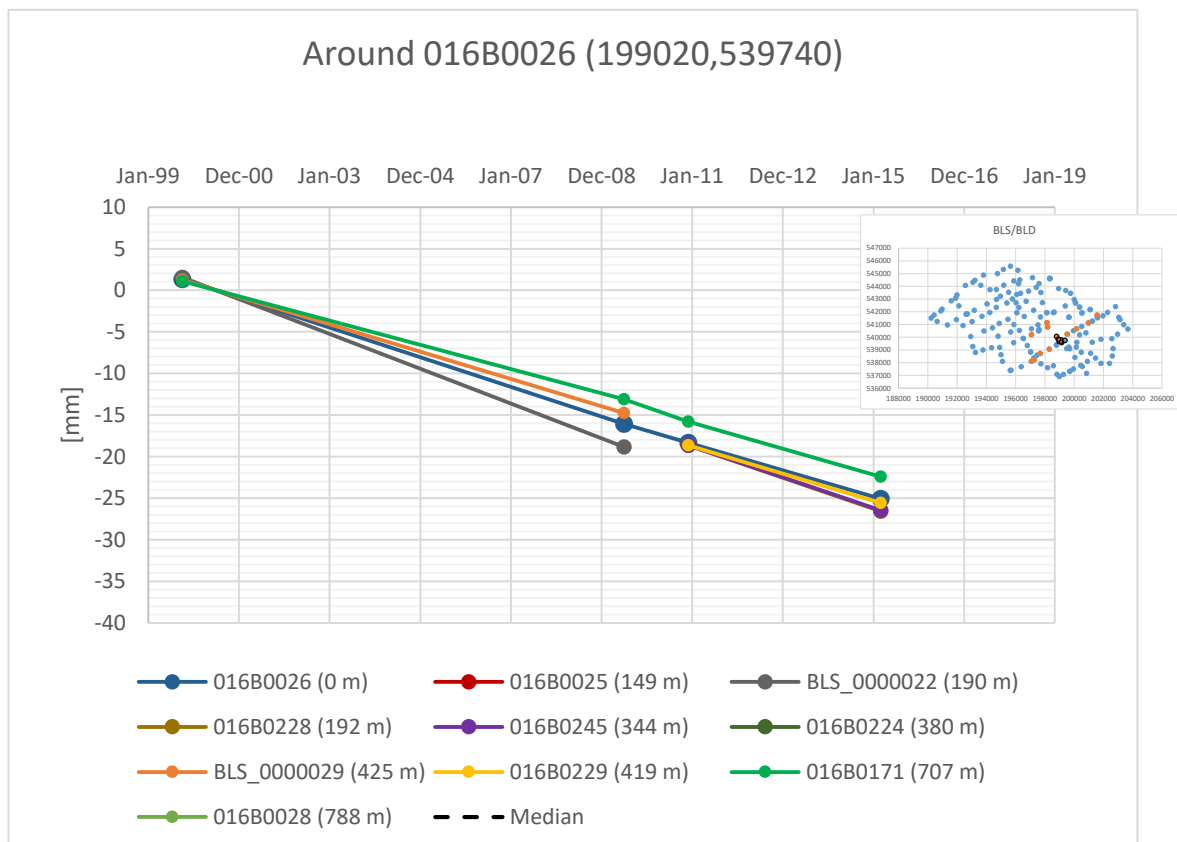
Het Sonnega/Weststellingwerf voorkomen (SOW), ten NW van Blesdijke, begon productie in 2015. Er is één put, SOW-02.

Een waterpassing van ‘De Blesse’ is voor het laatst in 2009 uitgevoerd. Boven Blesdijke en Sonnega-Weststellingwerf is in 2015 een waterpassing uitgevoerd. Die laatste overlapte voor een significant deel ‘De Blesse’, zodat ook conclusies daarover bijgesteld konden worden.

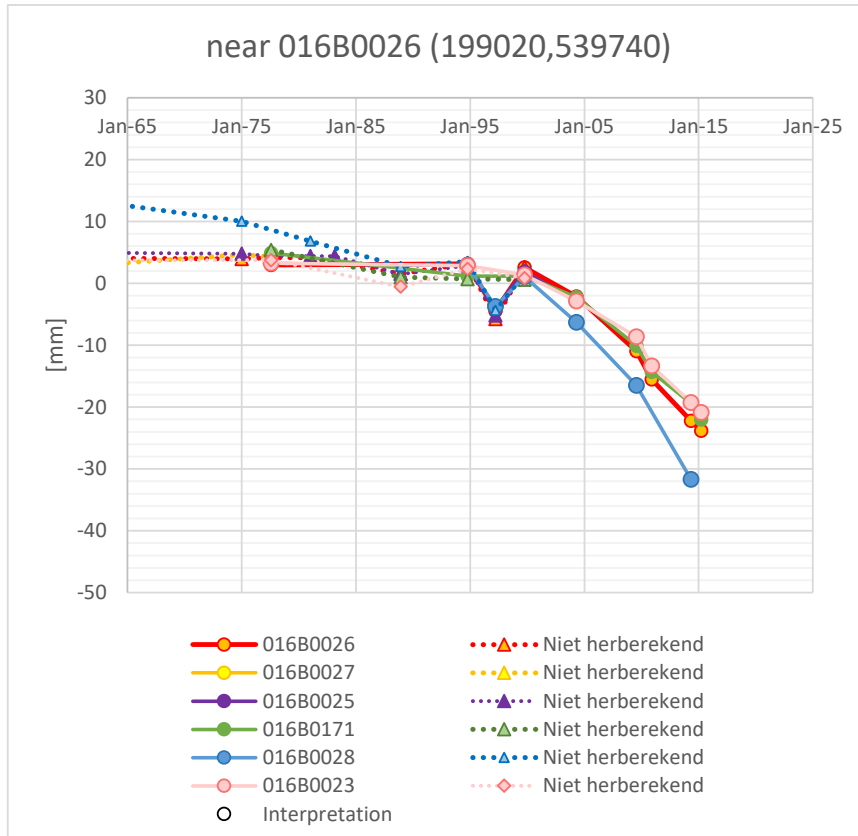
V.w.b. Blesdijke is de gemeten en berekende maximale uiteindelijke bodemdaling nog steeds ruim onder de 20 mm.

Boven De Blesse is de gemeten daling in 2015 ongeveer 3 cm. De verwachting is dat de bodemdaling tot 5 cm kan oplopen. Het invloedsgebied is opnieuw gecalibreerd, ook aan de hand van nieuw geologisch onderzoek. In de bodemdalingskaarten in dit rapport zijn de resultaten van dit onderzoek meegenomen.

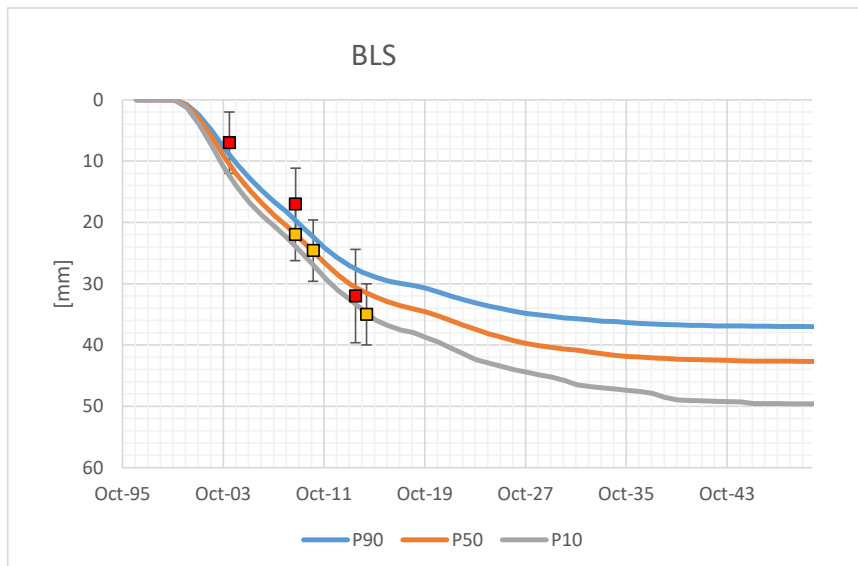
Omdat de meting in 2015 voor SOW een nulmeting was, kunnen nog geen conclusies over het voorkomen SOW getrokken worden.



Figuur 15-1 Peilmerkdaling rond het diepste punt van BLS. 1999-2009 is uit het meetplan BLS, 2010-2015 uit het meet plan BLD. De inzet geeft de locatie van de getoonde punten. (In de inzet zijn overlap-punten tussen de twee meetnetten oranje.)..



Figuur 15-2 Bodemdaling op hetzelfde punt als hierboven, maar nu uit de RWS database (ref. 7). Het begin van de gaswinning is duidelijk zichtbaar. Het blauwe punt lijkt als enige ook al daling te vertonen vóór 1999, mogelijk is daar een stabiliteits-issue.



Figuur 15-3 Gecalibreerde dalingsvoorspelling van BLS in het diepste punt, gecalibreerd aan de metingen. Hier zijn punten, gededuceerd uit de RWS/NAP database, toegevoegd in rood.

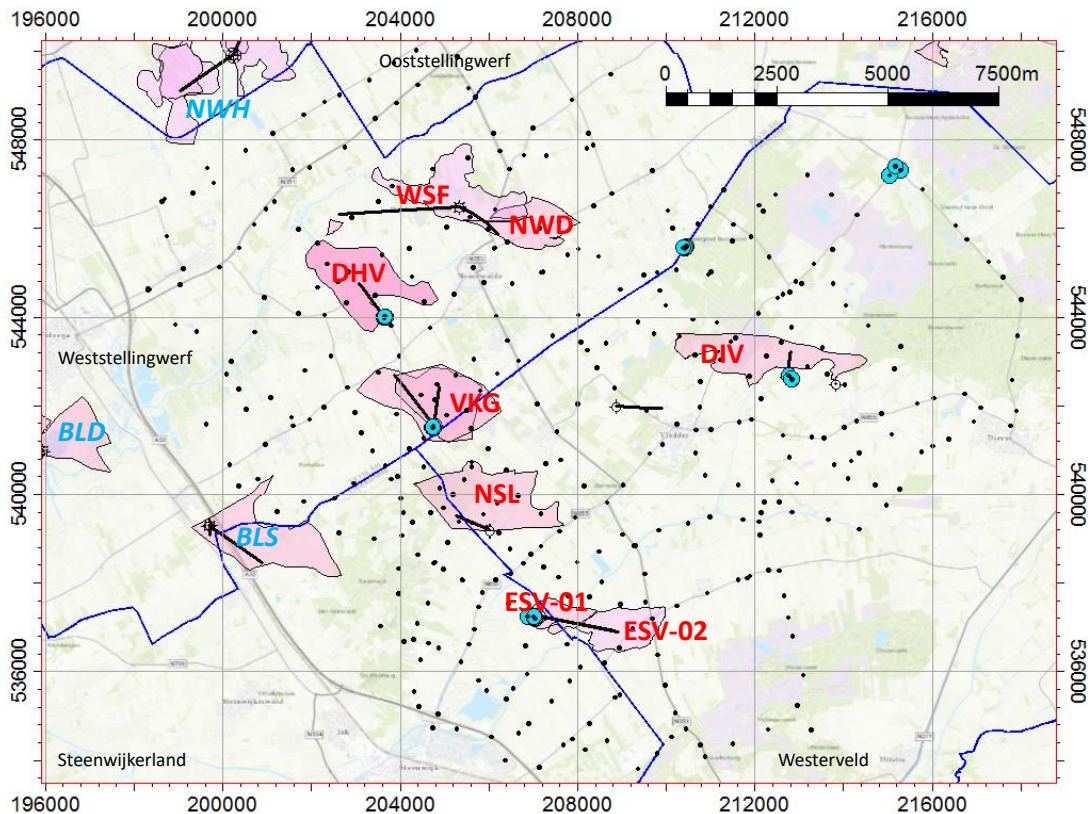
16 Bijlage: Meetplannen ‘Diever-Nijensleek-Eesveen’ en ‘Noordwolde-Weststellingwerf-Vinkega-De Hoeve’

In 2017 en begin 2018 zijn bodemdalingsmetingen uitgevoerd in Zuidoost-Friesland en West-Drenthe, en Noord-Overijssel, om de bodemdaling door gaswinning uit de voorkomens Noordwolde, Weststellingwerf, Vinkega, De Hoeve, Nijensleek, Eesveen en Diever te monitoren. De waterpassingen zijn in twee delen uitgevoerd, het eerste deel van Noordwolde tot Nijensleek, en het tweede deel van Nijensleek tot Diever. De twee delen overlappen, en hebben hetzelfde aansluitpunt, zodat een gedeelde analyse kan worden uitgevoerd. De twee deel-meetnetten zijn ontstaan door samenvoeging van eerdere meetnetten Noordwolde-Weststellingwerf, Vinkega-De Hoeve, Nijensleek-Eesveen en Diever. Naast waterpassingen zijn er ook GPS-metingen gedaan in Vinkega, De Hoeve (ref. 46) en Diever (ref. 49).

Voor het Eesveen-02 deelvoorkomen was deze waterpassing de nulmeting. Datzelfde geldt voor de GPS meting (ref. 49).

Tabel 16-1 Uitgevoerde metingen (W: waterpassing; G: GPS), gesplitst naar voorkomen.

	WSF	NWD	DHV	VKG	NSL	ESV	DIV
1997	W	W					
2000					W		
2006	W	W					
2008					W		
2011	W	W	W, G	W, G			
2012			G	G			
2015					W	W	W, G
2016							G
2017	W	W	W, G	W, G	W	W	W
2018						G	G



Figuur 16-1: Overzicht meetpunten uit de meetregisters: waterpaspunten in zwart, GPS punten in blauw. De voorkomens die besproken worden zijn aangegeven in rood, omliggende voorkomens in blauw. De blauwe lijnen zijn gemeentegrenzen. De westrand van het meetnet overlapt De Blesse (BLS) waar de winning in 1999 begon.

De hoofdconclusies van de analyse zijn:

- Er is geen eenduidige aanwijzing voor bodemdaling t.g.v. productie in het Noordwolde voorkomen (gestart in 1997). Mogelijk is er 0.5 cm daling, maar dit is (zeker over zo'n lange periode) aan de rand van de meetnauwkeurigheid. Er is geen duidelijke komvorm zichtbaar.
- Weststellingwerf produceerde van 1997 tot 2005. Er is geen eenduidige aanwijzing voor bodemdaling t.g.v. productie uit het Weststellingwerf voorkomen. Mogelijk is er 0.5 cm daling, maar dit is (zeker over zo'n lange periode) aan de rand van de meetnauwkeurigheid. Er is geen duidelijke komvorm zichtbaar.
- Er is geen eenduidige aanwijzing voor bodemdaling t.g.v. productie in het De Hoeve voorkomen (gestart in 2012). Mogelijk is er 0.5 cm daling, maar dit is (vanwege overlap met de Vinkega dalingskom) aan de rand van de meetnauwkeurigheid. Er is, mede ook door de overlap met Vinkega, geen duidelijke komvorm.
- De winning uit Nijensleek vond plaats van 2000 tot 2006. In 2011 was een daling van 1.5-2 cm te zien, met een afvallend profiel. Er was een duidelijke komvorm te zien.

Nu de meetregisters samengevoegd zijn, is te zien dat er van 2011-2017 opnieuw daling heeft plaatsgevonden. Omdat er geen productie was in Nijensleek, en vóór 2015 ook niet in Eesveen, kan deze daling alleen door Vinkega veroorzaakt zijn.

- Boven het voorkomen Vinkega is een bodemdaling te zien van ongeveer 1.0 (GPS) – 1.5 cm (waterpassing). De signatuur van daling door Vinkega is ook boven Nijensleek ten noorden van Eesveen-01 te zien. Er is, met andere woorden, een duidelijke komvorm te zien die zich uitstrekt tot boven Nijensleek.

Het diepte verloop in Vinkega is conform de verwachtingen. Voor Vinkega is ook de komvorm gecalibreerd. Er is een polygoon gededuceerd uit de waarnemingen, waarvoor de structuurkaart van de Rotliegend wordt gebruikt. Er is als aanknopingspunt een diepere contour gebruikt, waarbij de breukblokken van Vinkega (gasvoerend) en onder Nijensleek (watervoerend) worden meegenomen. Dit polygoon geeft de schatting van het ondergrondse gebied waar drukdaling plaatsvindt door de gasproductie in Vinkega.

Bij de berekening van bodemdaling uit dit gebied is rekening gehouden met dikte-variaties: de Rotliegend wordt vanuit Vinkega dunner naar het zuiden (Eesveen) en oosten (Diever).

De gecalibreerde kom zal in een actualisatie van het winningsplan verwerkt worden.

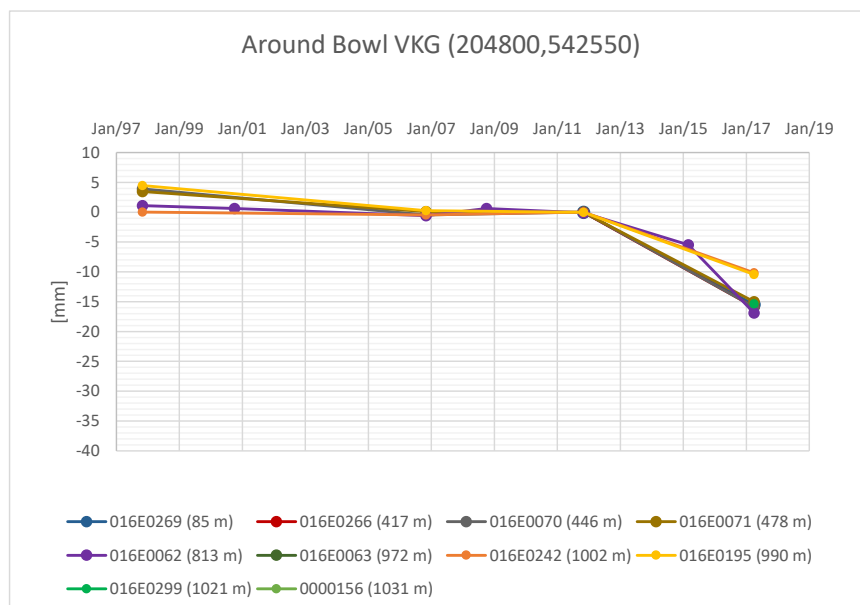
- Er was in de periode 2015-2017 geen bodemdaling eenduidig door winning uit het deelvoorkomen Eesveen-01. Omdat de winning pas eind 2015 gestart is, was dat ook niet verwacht.

Voor Eesveen-02 was dit een nulmeting. Bij de boring is geen depletie geconstateerd. De kommen die elders wel gesignaleerd zijn (VKG, NSL), reiken niet tot boven dit deelvoorkomen. Dus is er geen bodemdaling door winning uit andere voorkomens boven dit deelvoorkomen.

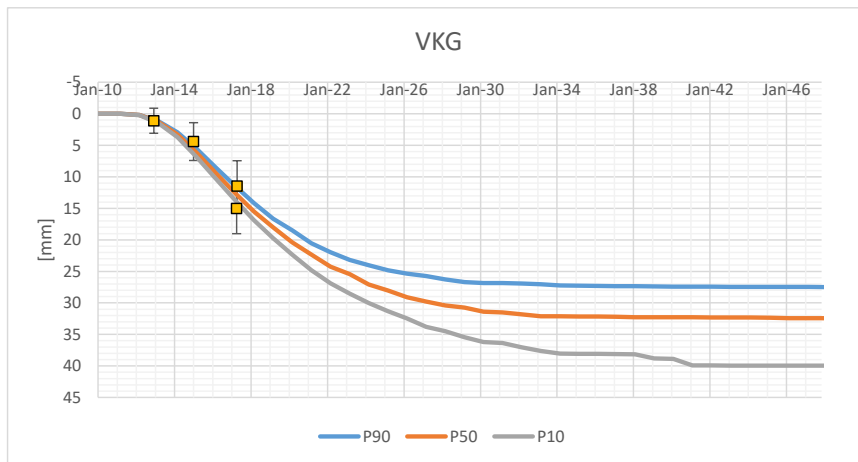
- Bij het voorkomen Diever is nog geen significante bodemdaling waargenomen. Mogelijk is er 0.3-0.5 cm te zien op de GPS meting 2018, maar dit is aan de rand van de meetnauwkeurigheid. Een komvorm is niet zichtbaar. Omdat de winning pas eind 2015 gestart is, was dat ook niet verwacht. De bodemdalingsmetingen te Diever geven dus geen aanleiding de voorspelling (ref. 45) te wijzigen (zie Figuur 16-7).

Ook al liggen de metingen in Diever aan de rand van de meetnauwkeurigheid, en zijn ze in overeenstemming met de voorspellingen, is er vanwege de resultaten in Vinkega toch voor gekozen om een vergroot high-case depletie gebied te gebruiken. Deze voorzorgsmaatregel leidt tot een vergroting van de maximale diepte tot uiteindelijk 3.6 cm (Figuur 16-8). Dit zal in een actualisatie van het winningsplan verwerkt worden.

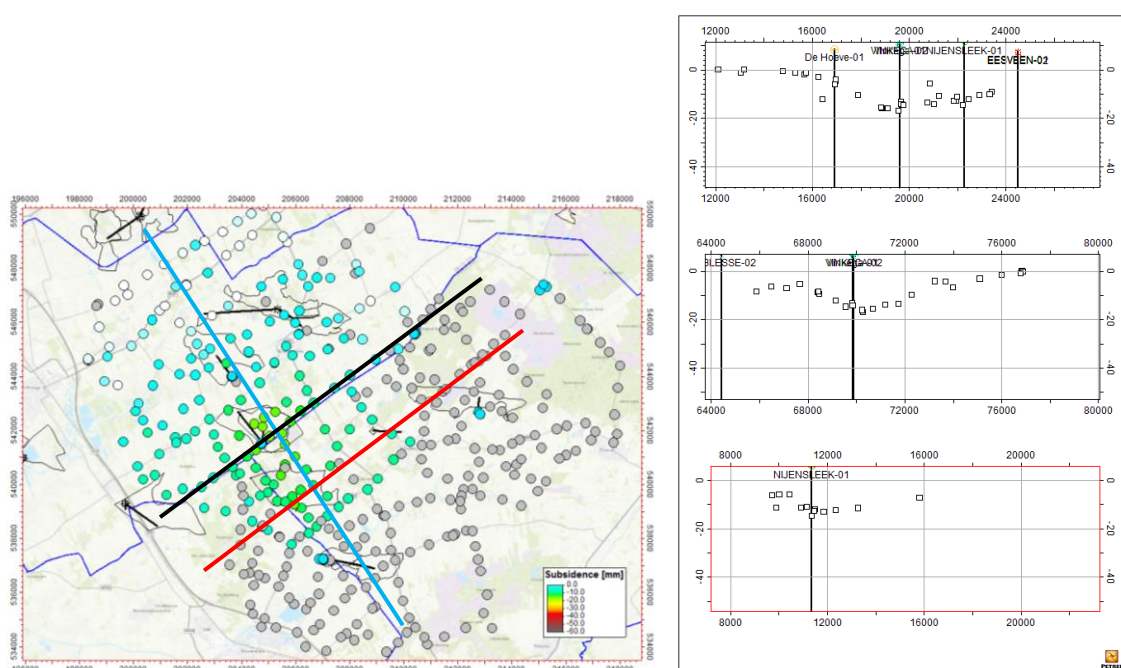
De hierboven besproken calibraties zijn getoetst aan de metingen, en geven een goede overeenstemming.



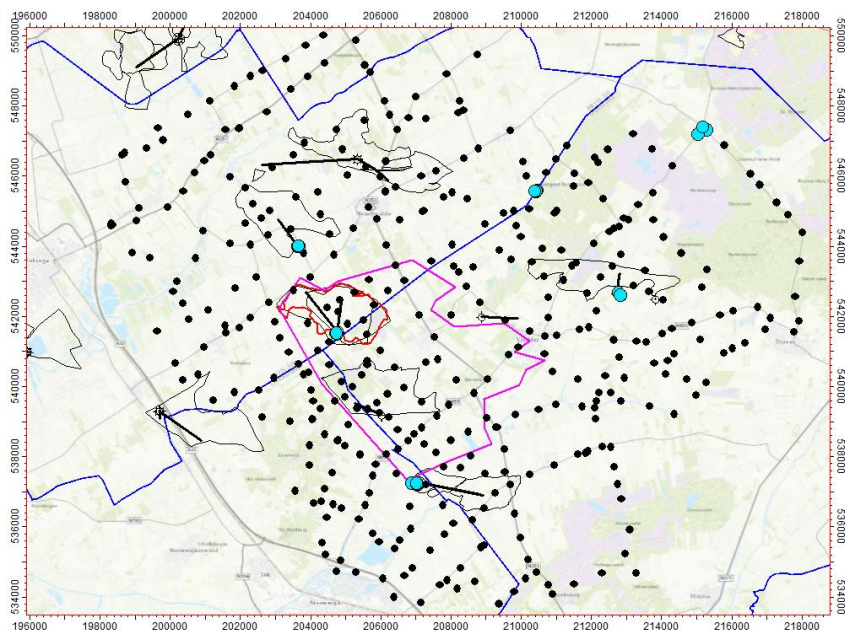
Figuur 16-2 Waterpassingsresultaten boven de Vinkega kom.



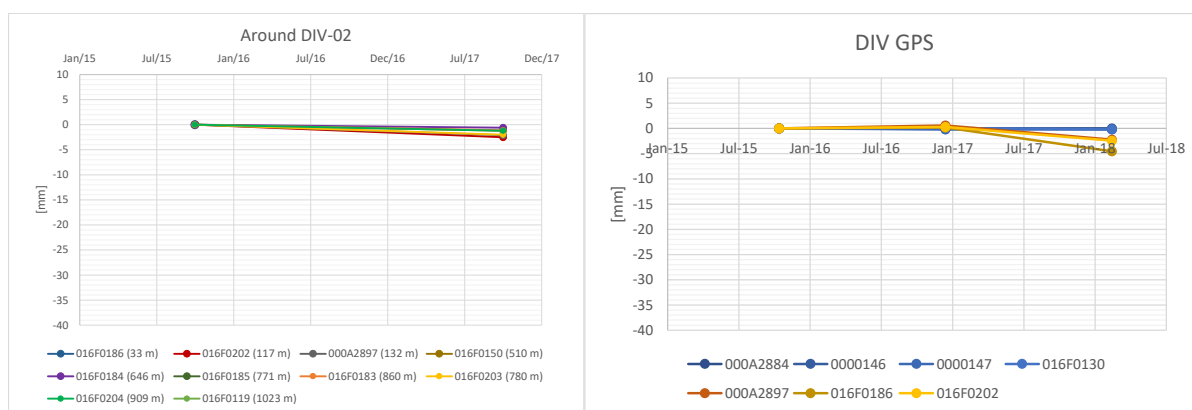
Figuur 16-3 Heralibratie van de Vinkega dalingskrommen aan de metingen (GPS en waterpassing).



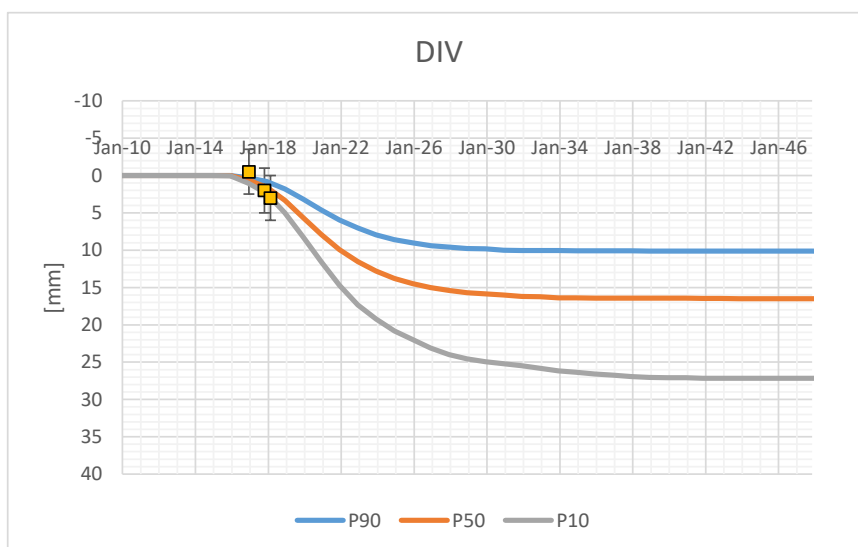
Figuur 16-4 Bodemdaling 2011-2017 in mm, voor dat deel van de meetplannen waar in die jaren een meting is gedaan. Overige punten in grijs. Drie cross-sections (sterk verticaal uitvergroot, verticaal in mm; van boven naar beneden: blauw NW→ZO, zwart, rood ZW→NO. Een duidelijke kom is boven Vinkega en Nijensleek te zien. In deze periode produceerde Vinkega (vanaf 2011) en Eesveen & Diever (vanaf 2015). Omdat Nijensleek niet produceerde in deze periode (gestopt in 2006) is het waargenomen effect het gevolg van gaswinning uit Vinkega.



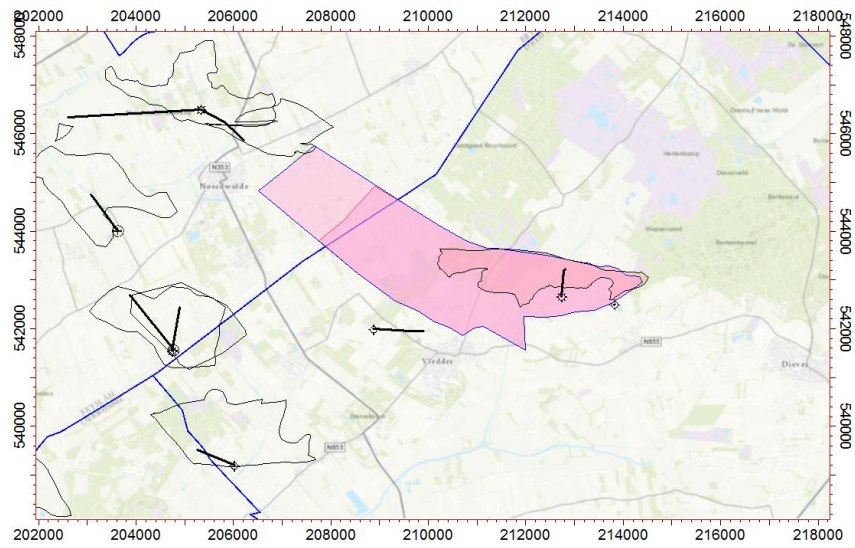
Figuur 16-5 Geschatte vorm van het depletie gebied Vinkega (in paars). De vorm is gebaseerd op de Rotliegend structuur. Te zien is hoe het depletiegebied onder Nijensleek door naar het zuidoosten reikt.



Figuur 16-6 Waterpas- (links) en GPS-data (rechts) bij Diever. Rechts in blauw referentiepunt Boijl, in oranje Diever (ref. 49).



Figuur 16-7 Heralibratie van de Diever dalingskrommen aan de metingen (GPS en waterpassing). De resultaten leiden tot een lichte verhoging van de P10, maar de vorige P10-P90-range en deze overlappen grotendeels (ref. 45).



Figuur 16-8 Naar analogie met Vinkega, wordt voor Diever uit voorzorg een mogelijk vergroot depletiegebied als H case aangenomen. Er is geen indicatie in de dalingsmetingen, daarin is geen komvorm te zien. De vorm van het gebied volgt de Rotliegend breukstructuur. Toepassing van deze H case leidt tot een P10 uiteindelijke bodemdaling van 3.6 cm.

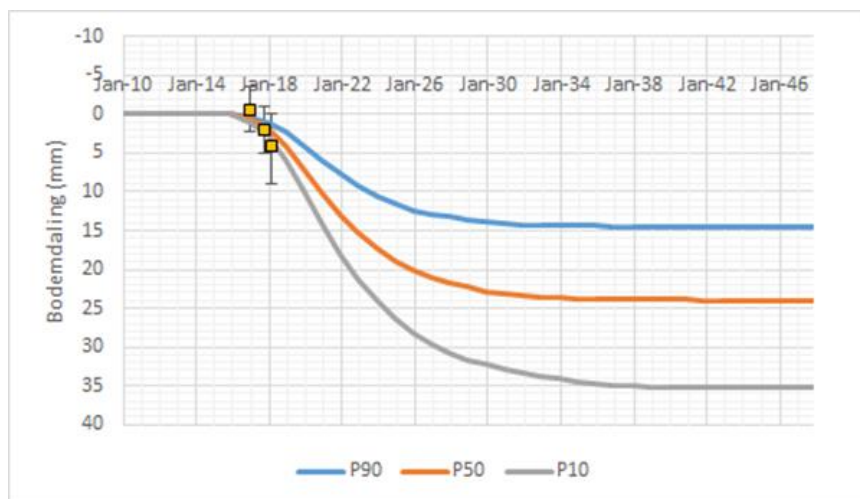


Figure 16-9 Diever voorspellingskrommen na uit voorzorg aanpassen van het H case depletiegebied.

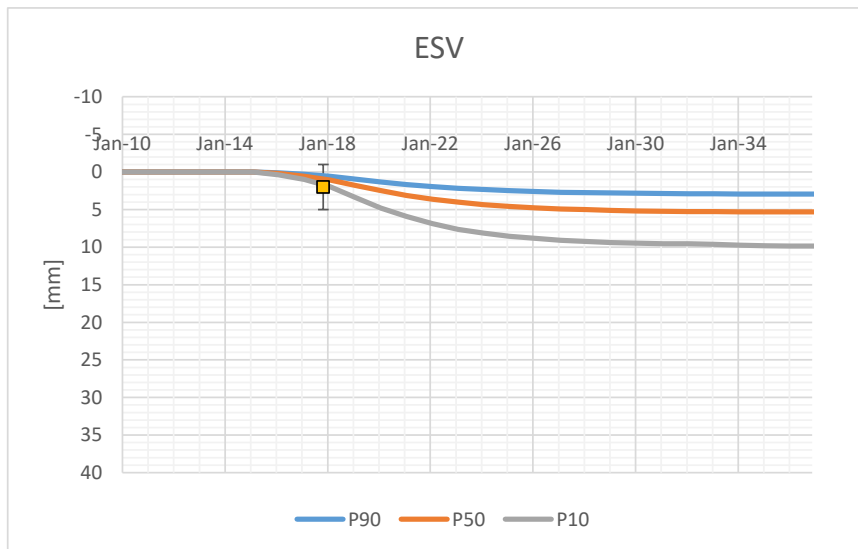
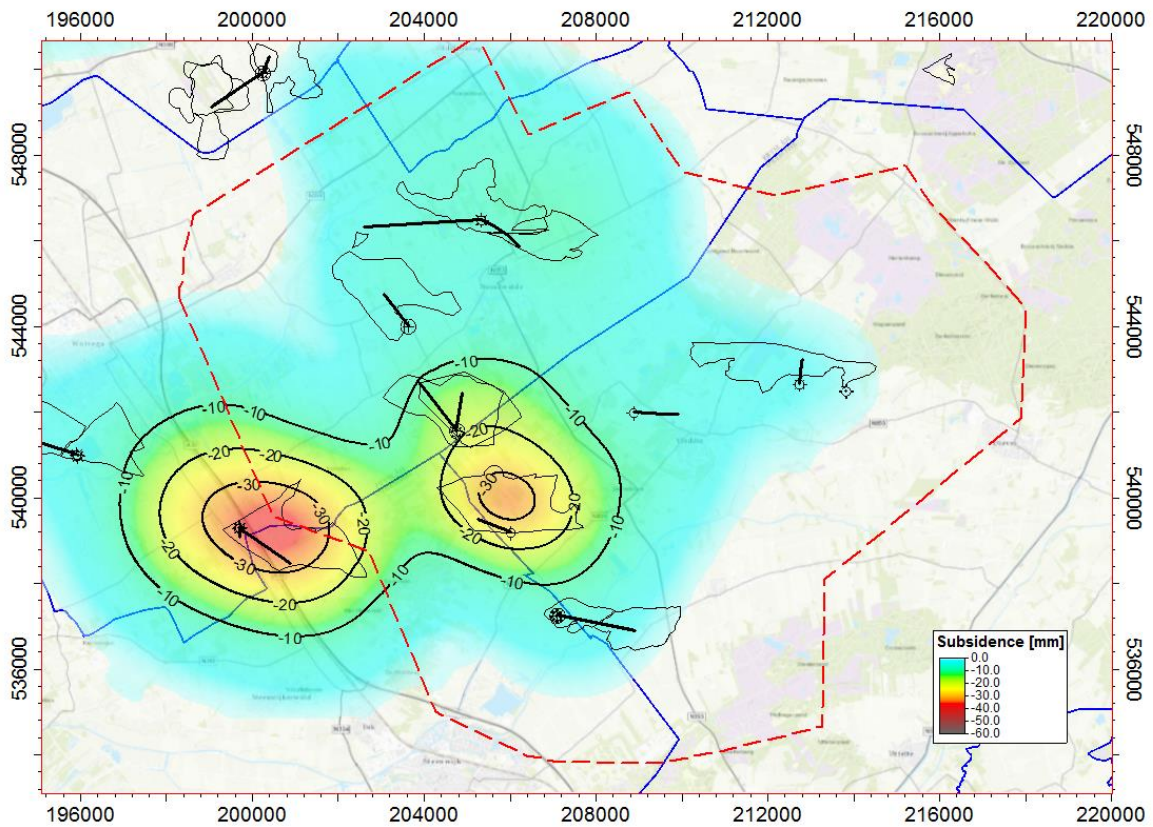
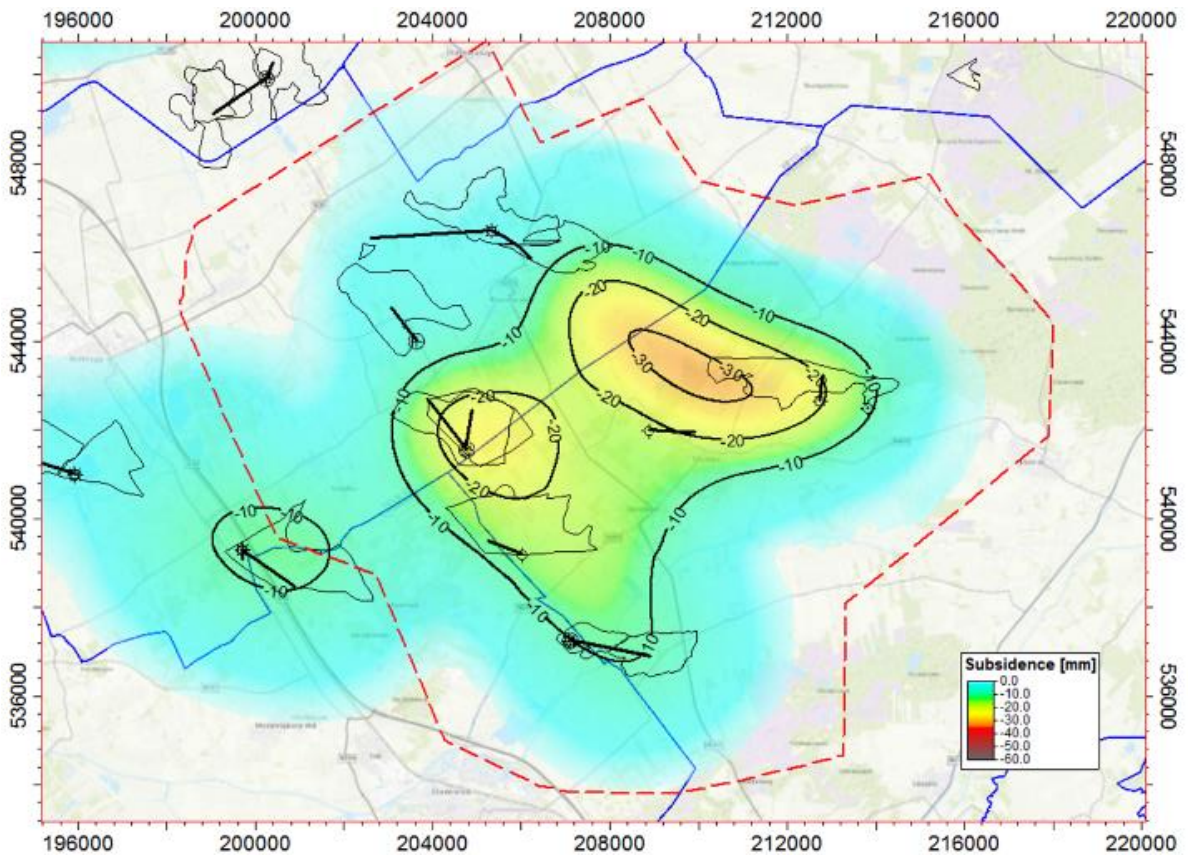


Figure 16-10 De waterpassing boven het Eesveen voorkomen laat geen significante daling zien, maar dat was ook niet verwacht. De voorspelling wordt dus niet aangepast.



Figuur 16-11 Op basis van aan de metingen gecalibreerde modellen geschatte huidige daling door gaswinning [mm]. De begrenzing van het meetplan is met een rode stippellijn aangegeven.



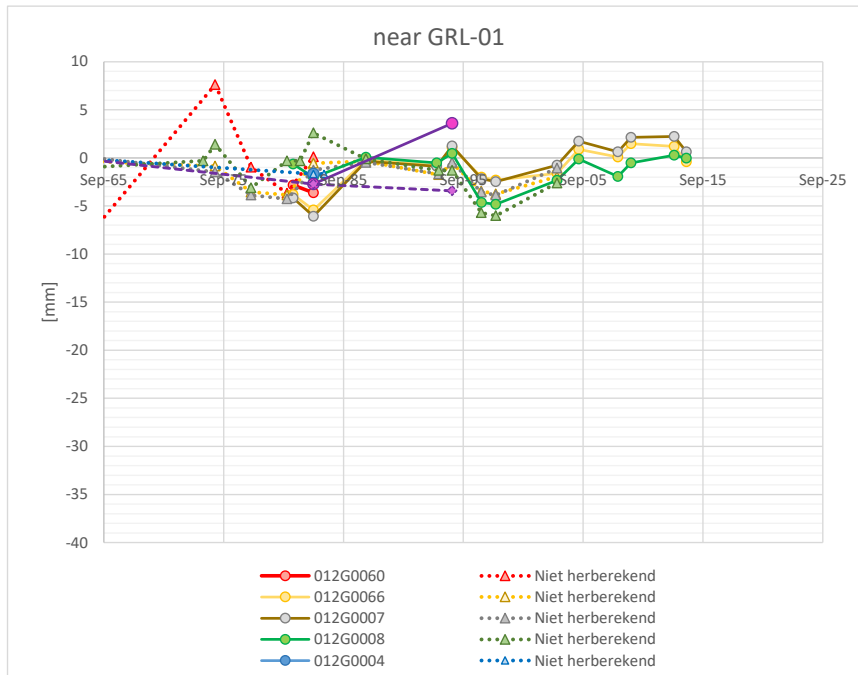
Figuur 16-12 Op basis van aan de metingen gecalibreerde modellen geschatte toekomstige daling [mm]. De begrenzing van het meetplan is met een rode stippellijn aangegeven.

17 Bijlage: Meetplan 'Grolloo'

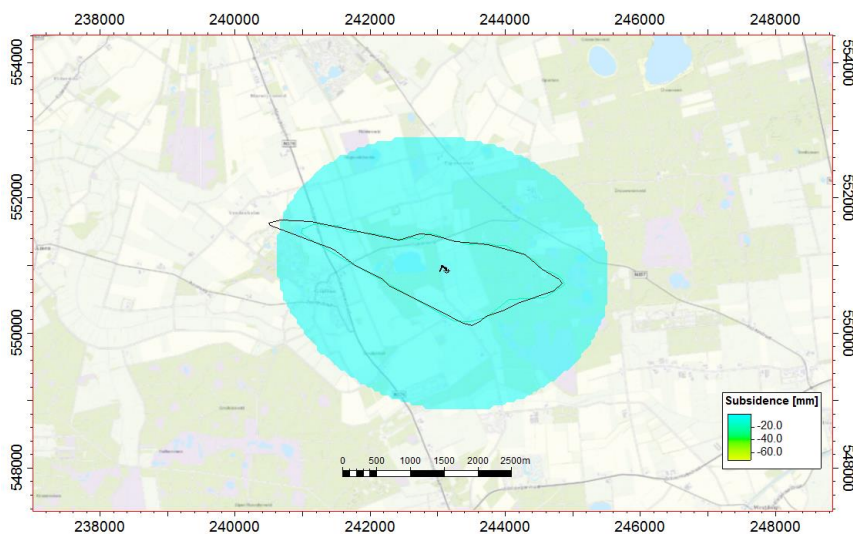
Uit het voorkomen Grolloo vindt winning plaats sinds 2009. Er is tot nu in het kader van het meetplan één waterpassing uitgevoerd. Dit was de nulmeting in 2009. Daaruit kan dus geen bodemdaling geschat worden. De eerstvolgende waterpassing door Vermilion wordt in 2019 uitgevoerd.

Daarom is ook naar de data in de Rijkswaterstaat database (ref. 7) gekeken. Een dekkende waterpassing is door RWS in 2014 uitgevoerd, Daarop is geen bodemdaling waarneembaar.

In het vigerende winningsplan voor Grolloo wordt uitgegaan van minder dan 1.4 cm bodemdaling. Er is geen reden om die verwachting te wijzigen.



Figuur 17-1 Peilmerkgedrag uit RWS database rond de locatie van GRL-01 (ref. 7). Er is niet significant meer daling na 2009 dan daarvoor (de winning begon in 2009).

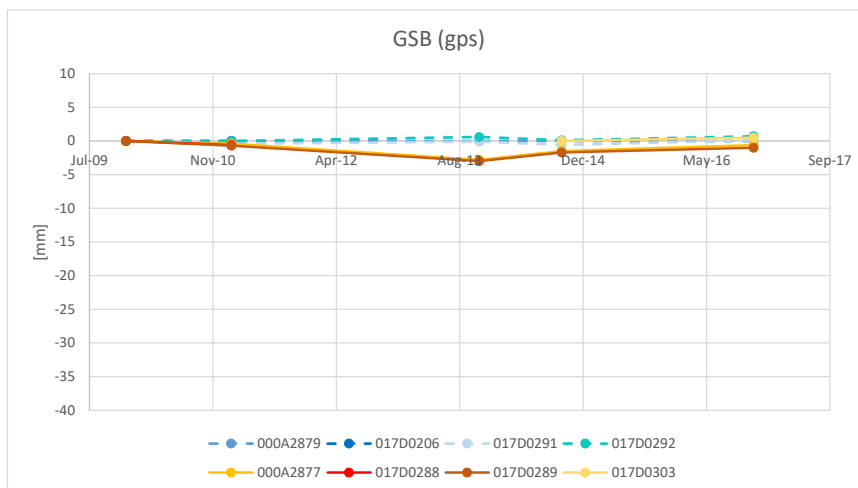


Figuur 17-2 Kaart voorkomen Grolloo, met geschatte toekomstige daling. Omdat de verwachte daling zo klein is, worden geen contouren getoond.

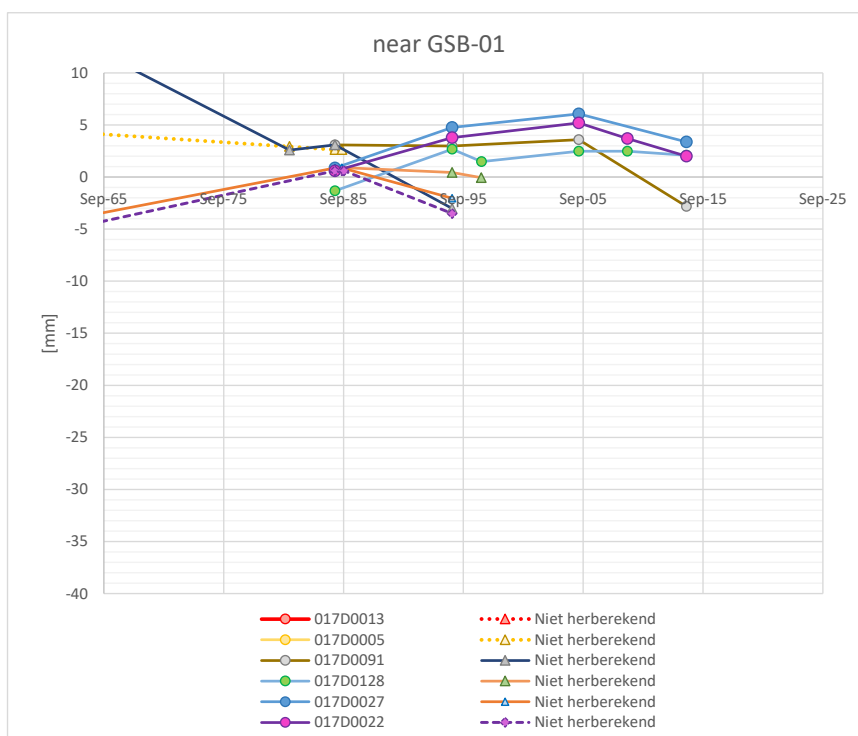
18 Bijlage: Meetplan 'Geesbrug'

De winning vindt plaats sinds 2009. Op de tot nu toe uitgevoerde GPS metingen is geen bodemdaling te zien. De eerstvolgende waterpassing door Vermilion wordt in 2019 uitgevoerd.

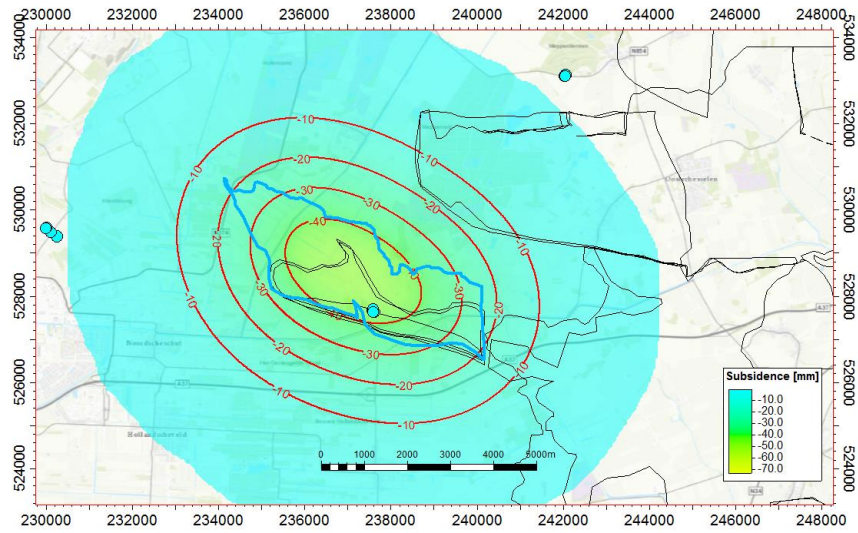
Het vigerende winningsplan heeft een bodemdaling van ten hoogste 6 cm. Gezien het deel van de productie dat al gerealiseerd is, is het waarschijnlijk aan te nemen dat dit een overschatting is. Een hercalibratie zal uitgevoerd worden na de komende waterpassing.



Figuur 18-1 Bodemdaling Geesbrug uit GPS meting. GSB punten in oranje, aansluitpunt (Stuifzand) in blauw. Data uit ref. 53). De punten rond Meppen zijn niet getoond, want liggen in het invloedsgebied van de NAM winning Oosterhesselen.



Figuur 18-2 Peilmerkgedrag uit RWS database rond de locatie van GSB-01 (ref. 7). Er is niet significant meer daling na 2009 dan daarvoor. (De winning begon in 2009)



Figuur 18-3 Kaart Geesbrug. De GPS meetpunten als blauwe cirkels (ref. 53). De verwachte toekomstige daling is weergegeven [mm]. Ten noordoosten van Geesbrug liggen een aantal NAM winningen (o.a. Oosterhesselen). De daling is conform het vigerende winningsplan; op de metingen is geen daling zichtbaar.