



## **Bodemdaling door zoutwinning in de Barradeel en Barradeel II winningvergunningen**

**Gebaseerd op  
de nauwkeurigheidswaterpassing van november 2011 en  
de GPS meetresultaten tot 15 februari 2012**

Vervaardigd door:	A.J.H.M. Duquesnoy, B.-J. Koers, Well Engineering Partners BV, Hoogeveen
Goedgekeurd:	B. de Lange, Hoofd Mijnbouw FRISIA D. van Tuinen, Directeur FRISIA
Publicatiedatum:	28 mei 2013 (versie 4)

## Inhoud

Inhoud .....	1
1. Introductie .....	1
2. Nauwkeurigheidswaterpassing 2011 .....	1
3. GPS-metingen.....	3
4. Referenties en bijlagen.....	4

## 1. Introductie

Ingenieursbureau Oranjewoud heeft in opdracht van Frisia Zout B.V.(Frisia) een nauwkeurigheidswaterpassing verricht in de periode oktober tot en met december 2011, in het gebied dat beïnvloed wordt door de zoutwinning in de Barradeel en Barradeel II winningvergunninggebieden. Op 1 en 2 februari 2012 is na het plaatsen van drie schroefankers boven de caveerne BAS-4 een aanvullende nauwkeurigheidswaterpassing uitgevoerd in de winningvergunning Barradeel II.

Sinds april 2004 wordt in het vergunninggebied Barradeel de ontwikkeling van de bodemdaling rond het diepste punt boven de cavernes BAS-1 en BAS-2 op de voet gevolgd met een hoogtemetingsysteem gebaseerd op GPS (Global Positioning System). Sinds augustus 2007 zijn in het vergunninggebied Barradeel II ook twee GPS meetstations continu operationeel vlakbij het diepste punt van de dalingskommen boven de cavernes BAS-3 en BAS-4.

In bijlage 1 is een overzichtskaart van het meetnet van de waterpassingen getoond. Naast de peilmerken en schroefankers staan daarin ook de posities van de GPS stations aangegeven.

In dit rapport zijn de nieuwste meetgegevens in kaart gebracht en geanalyseerd.

## 2. Nauwkeurigheidswaterpassing 2011

Oranjewoud heeft de waterpassing 2011 (WP 2011) uitgevoerd ten behoeve van de zoutwinning van Frisia en de gaswinning van Vermilion Oil & Gas Netherlands B.V. (Vermilion) in het gezamenlijke meetnet van beide ondernemingen met aansluiting op het Ondergrondse Merk (OM) Zweins. In 2007 is het aansluitpunt van het meetnet van Frisia op instructie van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) verlegd van Minnertsga, peilmerk 5G117, naar Zweins, OM OA 2760, om een correcte opsplitsing mogelijk te maken tussen de bodemdaling veroorzaakt door Frisia en de bodemdaling ten gevolge van de aangrenzende gaswinning van Vermilion. Met betrekking tot de zoutwinning van Frisia zijn het toegepaste meetnet en de meetresultaten gepubliceerd in het Meetregister bij het meetplan Barradeel en Barradeel II, rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2011 (ref 1).

De bodemdaling als gevolg van de zoutwinning is uit de waterpassing bepaald met behulp van een analytische methode die sinds 1999 door Frisia toegepast wordt. Deze methode gaat uit van de aanname dat de onttrekking van zoutvolume uit een beperkte holle ruimte in de diepe ondergrond (een caveerne) leidt tot een rotatiesymmetrische dalingskom aan de oppervlakte. Deze kom is mathematisch te beschrijven met een cirkelsymmetrische Gauss kromme. Zo leidt de zoutwinning in de Barradeel winningvergunning uit de dicht bij elkaar liggende cavernes BAS-1 en BAS-2 tot één cirkelvormige dalingskom. De zoutwinning in Barradeel II, die begonnen is in oktober 2003 via de caveerne BAS-3 en in april 2006 via de caveerne BAS-4, manifesteert zich door afzonderlijke dalingskommen. De kom van caveerne BAS-3 valt grotendeels samen met de kom boven de cavernes BAS-1 en BAS-2.

In de uitwerking van de gegevens van WP 2011 is het maximaal aantal beschikbare peilmerken zonder invloed van de gaswinning gebruikt om tot de beste passing (best fit) te komen van de komparameters met de dalingsgegevens. Er zijn 57 peilmerken met gasinvloed buiten beschouwing gelaten, waarna 190 peilmerken voor een analyse beschikbaar bleven. De best fit is gebaseerd op de methode van de kleinste gemiddelde kwadraten van de verschillen tussen de gemeten en de berekende peilmerk daling. Peilmerken waarvan de gemeten daling meer dan 13 mm afwijkt van de berekende best fit komdaling worden eveneens uitgesloten (ref.2). Dit is het geval bij 14 in 2011 gemeten peilmerken.

In de loop der jaren vervallen in het bodemdalinggebied en daarbuiten regelmatig peilmerken, die meestal vervangen worden door nieuwe peilmerken. Ook netwerkversteving leidt tot de introductie van nieuwe peilmerken. Aan peilmerken die voor het eerst ingemeten worden, terwijl er ter plaatse al wel bodemdaling als gevolg van zoutwinning is, wordt een 'zoutdaling' toegekend die volgt uit de 'best fit' dalingskom op het moment van inmeten. Deze methode is bij SodM bekend als de 'glijdende peilmerk inschakeling'. De fictieve 'nulhoogte' van deze nieuwe peilmerken voor aanvang zoutwinning volgt uit een correctie voor de zoutdaling.

De WP 2011 gegevens hebben FRISIA in staat gesteld een goede beschrijving van de bodemdaling boven de vier cavernes te geven. Uit analyses met variërende komfactoren is gebleken, dat de dalingskommen van BAS 3 en BAS 4 beter bij de peilmerkbewegingen aansluiten (kleiner foutsignaal) door deze kommen iets steiler te maken (grotere gamma en delta waarden) dan de optimaal gemodelleerde kom boven de cavernes BAS 1 en 2. Omdat de dalingskom boven BAS-4 zich inmiddels duidelijk aftekent, is de positie van het centrum van de dalingskom niet meer vooraf vastgelegd, maar vrijgelaten en geoptimaliseerd aan de hand van de meetresultaten. Dit heeft in 2011 geleid tot een centrumverschuiving van iets meer dan honderd meter naar het zuidwesten vergeleken met de analyse van 2009 (ref.3).

Om voor de toekomst een betrouwbare bepaling van plaats en diepte van het komcentrum boven caveerne BAS-4 uit de waterpassingresultaten te bevorderen zijn in februari 2012 vlakbij het diepste punt van de dalingskom drie diepgefundeerde schroefankers bijgeplaatst (zie locaties in bijlage 1).

De analyseresultaten voor WP 2011 zijn samengevat in de volgende tabel:

Waterpassing november 2011		Kom BAS 1-2	Kom BAS 3	Kom BAS 4
Aansluiting Zweins	Eenheid	Nov-11	Nov-11	Nov-11
X Coördinaat kom centrum	m	160.733	163.101	166.458
Y Coördinaat kom centrum	m	580.056	581.177	582.068
Kom factor gamma		4,07 E-07	4,35 E-07	4,35 E-07
Kom factor delta		1,962	1,995	2,004
Maximale diepte kom centrum	mm	-328	-115	-124
Overlap andere kommen	mm	-7	-42	-1
Totale daling kom centrum	mm	-335	-158	-125
Totaal gemodelleerde GPS daling	mm	-326	-144	-125
Gemeten GPS daling	mm	-322	-142	-115

**Tabel 1:** Komvorm parameters voor de dalingskommen van BAS-1&2, BAS-3 en BAS-4, gebaseerd op een statistische analyse van de beweging van 176 peilmerken (Zweins, glijdende pm, 5-kommen, v0 B4 vrij FINAL).

In bijlage 2 is een kaart met bodemdalingcontouren getoond, die de gesuperponeerde daling van de drie afzonderlijke dalingskommen weergeeft.

### 3. GPS-metingen

#### **Overgang van basisstation Minnertsga naar Zweins**

Sinds april 2004 staat er een GPS meetstation op de BAS 1/2/3 winlocatie (GPS Station Barradeel). Het GPS basisstation was geplaatst in Minnertsga in een gebied dat in die tijd niet door zout- en/of gaswinning beïnvloed werd. Het GPS station Barradeel staat dicht bij het diepste punt van de Barradeel dalingskom. In 2007 zijn er ook GPS stations geplaatst nabij het diepste punt van de BAS-3 en BAS-4 dalingskommen. De zoutwinning uit caveerne BAS-4 is gestart in april 2006. De invloed van de bodemdaling boven caveerne BAS-4 zal in de loop der tijd sterker in Minnertsga tot uiting komen. In 2009 bleef de boven caveerne BAS-4 gemeten GPS daling 7 mm achter bij de uit waterpasresultaten gemodelleerde daling. De waterpassingen hebben het OM Zweins (OA 2760) sinds 2007 als aansluitpunt. Uit de meetresultaten van de waterpassing 2009 is gebleken dat het peilmerk 5G277 onder de GPS antenne in Minnertsga 1 mm per jaar daalt ten opzichte van het aansluitpunt OM Zweins. Dit gegeven kan verklaren waarom de GPS daling (ref. Minnertsga) achterblijft bij de waterpassingen (ref. Zweins). In 2010 hebben SodM, Frisia en Vermilion besloten om ook het GPS basisstation te verplaatsen naar een positie bij het OM Zweins (zie kaart in bijlage 1).

Sinds februari 2011 is het GPS basisstation Zweins volledig operationeel en is de ijking van station Minnertsga met het nieuwe station Zweins gestart. De beide stations hebben gedurende 6 maanden simultaan GPS data verzameld om het dataverloop met dezelfde trend te kunnen voortzetten. Vanaf 15 augustus 2011 worden de coördinaten voor de GPS stations in de dalingskommen bepaald ten opzichte van basisstation Zweins en is het basisstation Minnertsga opgeheven. De coördinaten van station Zweins worden voortaan jaarlijks geijkt vanuit het landelijke GPS netwerk van 06-GPS en met Geo++ software nauwkeurig bepaald.

#### **Resultaten GPS-metingen**

De meetresultaten vanaf het begin van de GPS metingen tot 15 februari 2012 zijn getoond in de drie grafieken van bijlage 3.

Met 'differential' GPS wordt alleen het hoogteverschil gemeten tussen het basisstation en de de andere drie stations. De individuele metingen tonen een spreiding van enkele centimeters (lichtgrijze gebied in de dalingsgrafieken). Door het middelen van de metingen over de tijd worden trendlijnen berekend, die op mm niveau nauwkeurig zijn. FRISIA hanteert trendlijnen op basis van voortschrijdende gemiddelden over een periode van 16 weken (8 weken terug en 8 weken vooruit). De trendlijnen lopen 8 weken achter op de actuele waarnemingen.

De trendlijn van het GPS station Barradeel is aan de hand van de september 2004 WP analyse 'opgehangen' aan de komdalingswaarde op de positie van het GPS station. De overgang van basisstation Minnertsga naar basisstation Zweins is vloeiend verlopen, zodat dit geen invloed heeft gehad op de hoogteligging van de trendlijn van Barradeel. De trendlijnen van de stations BAS-3 en BAS-4 zijn in 2007 al meteen vastgelegd aan een hoogte, die ten opzichte van Zweins is bepaald.

De zoutwinning uit BAS-2 is gestopt in oktober 2004 en uit BAS-1 in september 2008. Sinds 2004 blijkt uit de waterpassingen dat de positie van het diepste punt van de dalingskom in het vergunninggebied Barradeel niet aantoonbaar in de richting van de caveerne BAS-3 caveerne is verschoven, hoewel uit die caveerne nog actief zout geproduceerd is tot medio 2010. Het GPS station Barradeel ligt niet precies in het centrum van de dalingskom. Uit Tabel 1 volgt dat met betrekking tot het jaar 2011 nog 13 mm daling moet worden toegevoegd aan de daling van het GPS station Barradeel voor het bepalen van de daling in het komcentrum van Barradeel.

Uit de GPS-grafiek in bijlage 3 blijkt dat na de productiestop in de cavernes BAS-1 en BAS-2 de GPS-daling in Barradeel in 2011 geheel tot stilstand is gekomen. Volgens de resultaten uit

waterpassingen zet de bodemdaling zich nog wel voort. Ter plaatse van de GPS-antenne is het verschil opgelopen tot 4 mm. De GPS-antenne staat op een goed gefundeerd gebouw op de productielocatie Barradeel, terwijl de peilmerken in de onmiddellijke omgeving vrijwel allemaal ondiep gefundeerd zijn. In voorgaande jaren zijn al enkele peilmerken (nrs.2 en 86) met een negatieve afwijking van meer dan 13 mm van de kombepaling uitgesloten. In 2011 voldoet peilmerk nr.1 nog net (afwijking -13 mm). De resterende peilmerken (nrs.33, 36, 63 en 5G129) voldoen nog wel met afwijkingen tussen 0 en -4 mm. Voor de positie van genoemde peilmerken wordt verwezen naar de kaart in bijlage 1. Als in de nabije toekomst het hoogteverschil tussen de waterpassingen en de GPS-meting verder gaat oplopen en statistisch significant wordt vormt dit een verdere aanwijzing voor autonome zetting in het gehele gebied rond de locatie.

Uit Tabel 1 volgt eveneens dat in 2011 nog 16 mm daling moet worden toegevoegd aan de gemeten GPS-daling van BAS-3 ter bepaling van de daling in een punt precies boven caverne BAS-3. De afstand tussen de GPS antenne en het diepste punt is circa 300 m.

Hoewel het GPS station BAS-4 vrijwel recht boven caverne BAS 4 ligt, blijft de gemeten daling relatief sterk achter (10 mm) bij de uit waterpassingen gemodelleerde daling ter plaatse. Door het vervangen van het licht dalende basisstation Minnertsga door het stabiele GPS basisstation Zweins loopt het verschil tussen de meetresultaten van de GPS metingen en de waterpassingen wellicht niet verder op. De komende jaren zal duidelijk worden of de omliggende ondiep gefundeerde peilmerken een niet-verwaarloosbare autonome zakking vertonen ten opzichte van de goed gefundeerde GPS antenne en de drie diepgefundeerde schroefankers, die in februari 2012 ter controle vlakbij het diepste punt van de dalingskom zijn bijgeplaatst.

## 4. Referenties en bijlagen

### *Referenties*

1. Meetregister bij het meetplan Barradeel en Barradeel II, Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2011, Frisia Zout B.V., februari 2012.
2. Jaarverslag Staatstoezicht op de Mijnen 2007, bijlage L.
3. Bodemdaling door Zoutwinning in de Barradeel en Barradeel II winningvergunning-gebieden, gebaseerd op de nauwkeurigheidswaterpassing van september 2009 en de GPS resultaten tot eind december 2009, Frisia Zout B.V., 31 mei 2010.

### *Bijlagen*

- Bijlage 1: Overzichtskaart meetnet waterpassingen en de positie van de GPS stations
- Bijlage 2: Contourenkaart van bodemdaling vanaf 1995 ten gevolge van zoutwinning uit Barradeel en Barradeel II.
- Bijlage 3: GPS dalingsgrafieken van de stations Barradeel (BAS-1 en 2), BAS-3 en BAS-4.

## **Bijlage 1:**

### **Overzichtskaart meetnet waterpassingen en de positie van de GPS stations**



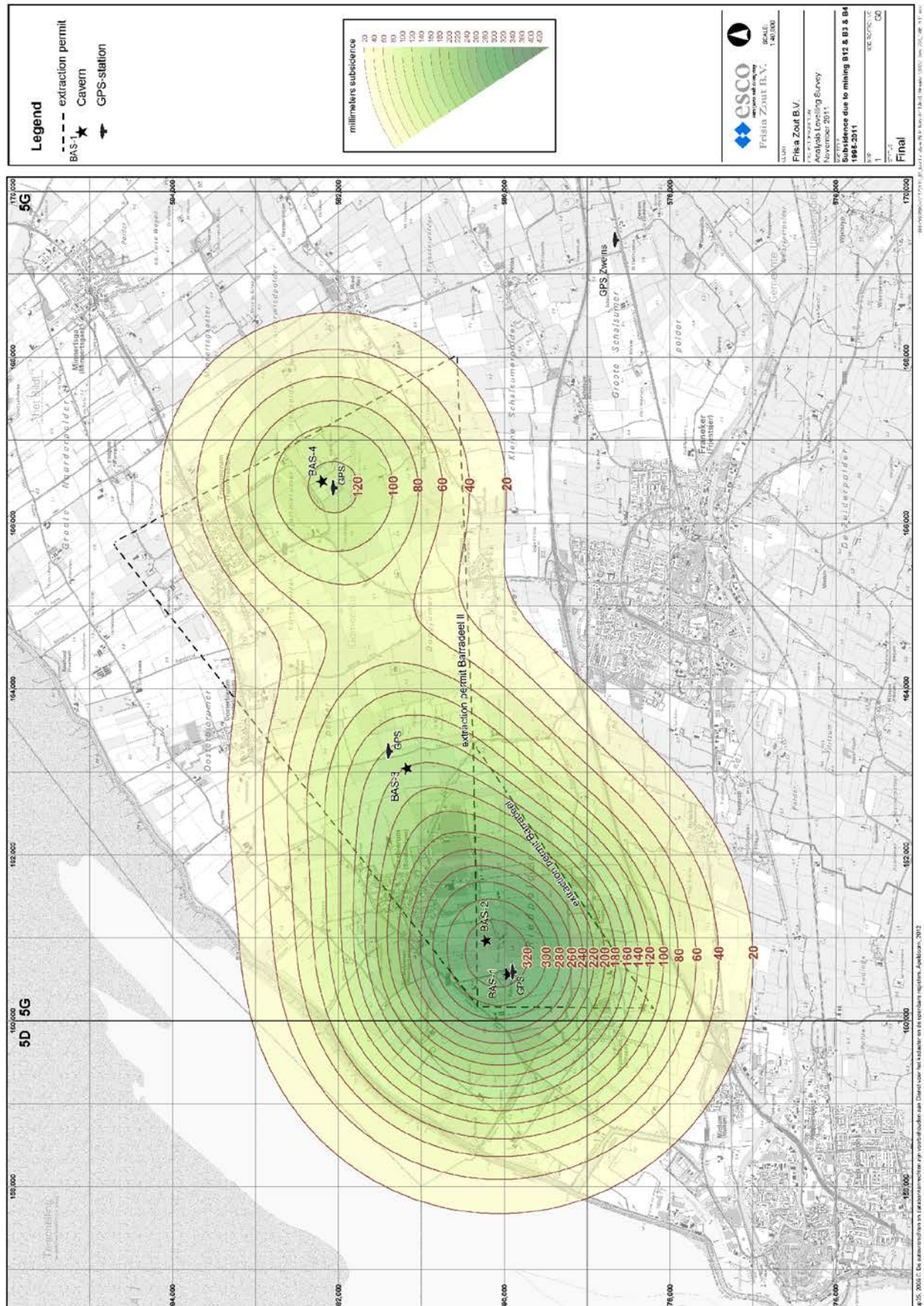


## **Bijlage 2:**

**Contourenkaart van bodemdaling vanaf 1995 ten gevolge van zoutwinning uit Barradeel en Barradeel II.**

**Waterpassing 2011, aansluiting Zweins, daling in mm's.**

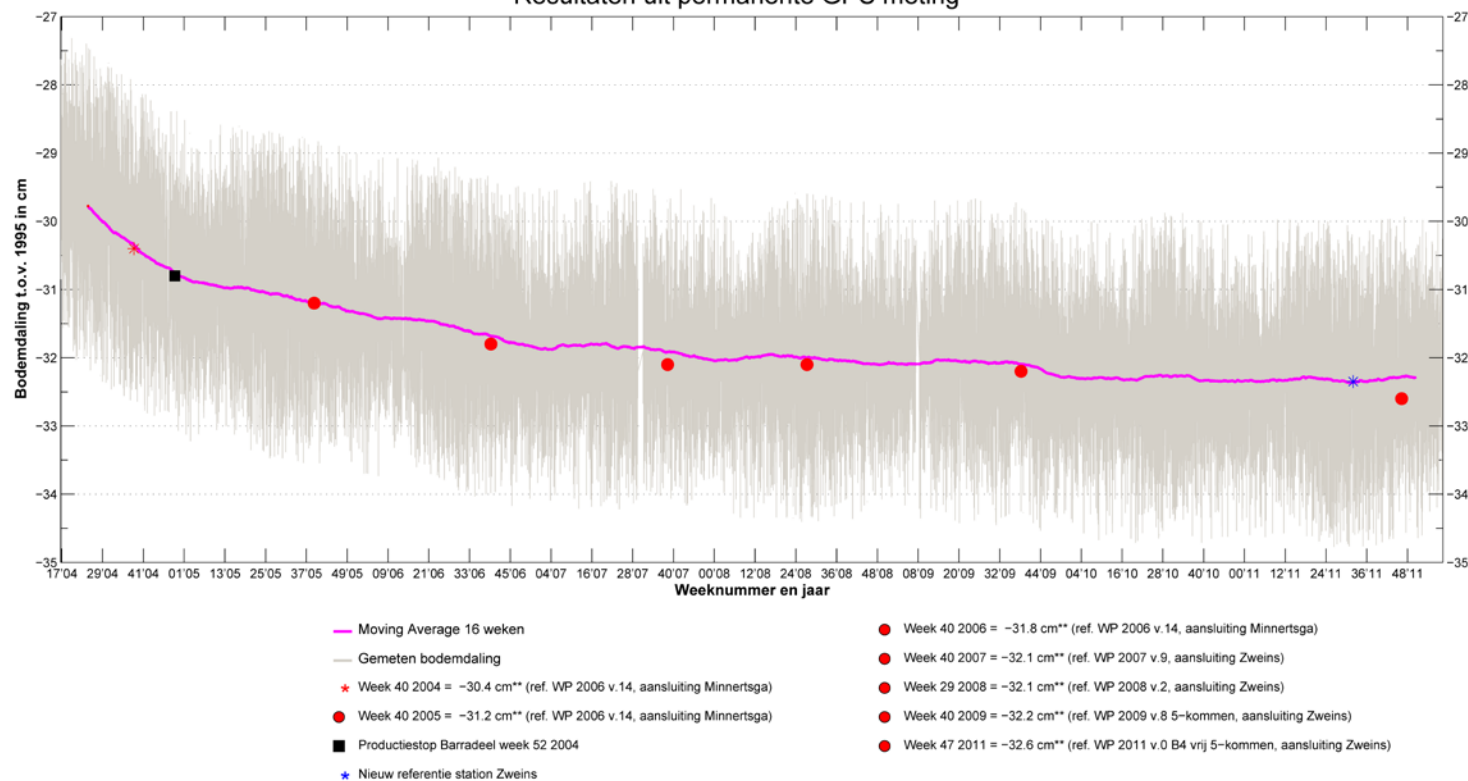




## **Bijlage 3:**

**Resultaten van de differentiële GPS metingen op de stations Barradeel, BAS-3 en BAS-4 ten opzichte van basisstation Zweins (periode tot 15 februari 2012)**

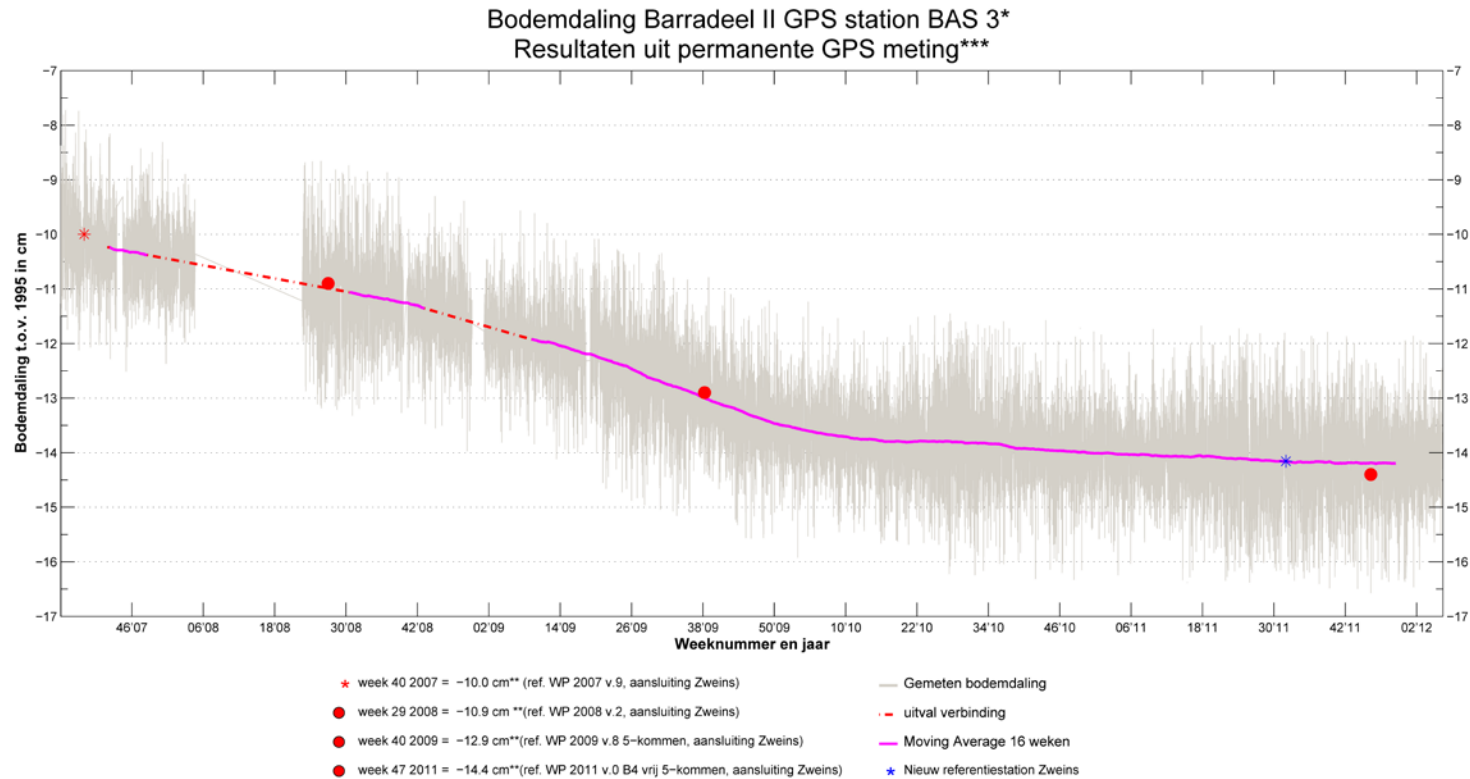
Bodemdaling GPS station Barradeel\*  
Resultaten uit permanente GPS meting\*\*\*



\* Op basis van WEP Analyse WP 2011 v.0 B4 vrij, voeg 1.3 cm daling toe aan de daling van het GPS station Barradeel voor bepaling van het diepste punt in winningsvergunning Barradeel.

\*\* Daling GPS station berekend uit "best fit" dalingskommen

\*\*\* GPS is een relatieve meting tussen station Barradeel en het station te Zweins. De relatieve GPS meting is gekoppeld aan de absolute daling vastgesteld in WP 2004 (rode ster)

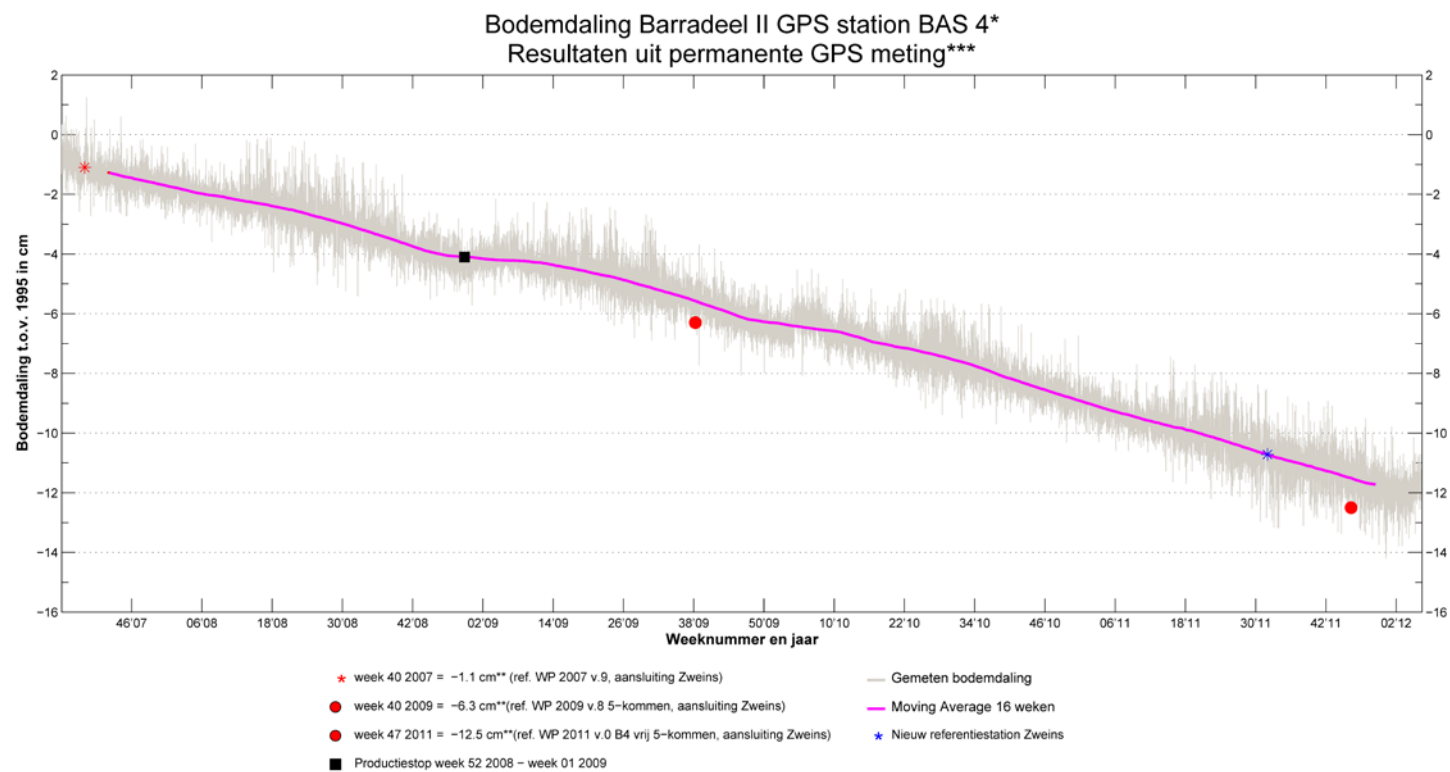


\* Op basis van WEP Analyse WP 2011 v.0 B4 vrij, voeg 1.6 cm daling toe aan gemeten GPS daling voor bepaling van de bodemdaling in winningvergunning Barradeel II boven de caverne BAS-3.

\*\* Daling GPS station berekend uit "best fit" dalingskommen

\*\*\* GPS is een relatieve meting tussen station Bas3 en het station te Zweins. De relatieve GPS meting is gekoppeld aan de absolute daling vastgesteld in WP 2007 (rode ster)





\* Op basis van WEP Analyse WP 2011 v.0 B4 vrij, voeg 1.0 cm daling toe aan gemeten GPS daling voor bepaling van de bodemdaling in winningvergunning Barradeel II boven de caverne BAS-4.

\*\* Daling GPS station berekend uit "best fit" dalingskommen

\*\*\* GPS is een relatieve meting tussen station Bas4 en het station te Zeijns. De relatieve GPS meting is gekoppeld aan de absolute daling vastgesteld in WP 2007 (rode ster)