



## **Bodemdaling door Zoutwinning In de Barradeel en Barradeel II winningvergunninggebieden**

**Gebaseerd op  
de nauwkeurigheidswaterpassing van september 2006 en  
de GPS resultaten tot eind april 2007**

Vervaardigd door: BECi, Well Engineering and Mining Consultants

Goedgekeurd: L. Mulder, Directeur FRISIA  
D. van Tuinen, Directeur FRISIA

Publicatie datum: 8 mei 2007

## 1 Inhoud

1	Inhoud.....	1
2	Introductie.....	1
3	Nauwkeurigheidswaterpassing.....	2
4	GPS.....	4
5	Vergelijking met eerder gepubliceerde dalingscijfers.....	5
6	Referenties en bijlagen.....	5

## 2 Introductie

Oranjewoud heeft een nauwkeurigheidswaterpassing uitgevoerd in september 2006 in het gebied dat beïnvloed wordt door de zoutwinning in de Barradeel en Barradeel II winningvergunninggebieden. In dit rapport wordt het totale effect sinds het begin van de zoutmijnbouw (1995) in kaart gebracht en kort besproken.

Sinds april 2004 wordt de ontwikkeling van de bodemdaling rond het diepste punt op de voet gevolgd met een hoogtemetingsysteem gebaseerd op GPS (Global Positioning System). De resultaten van deze metingen worden ook in dit rapport getoond en kort besproken.

De illustraties en tabellen in dit rapport zijn ontleend aan het Engelse detail rapport 'Analysis of Levelling Survey September 2006' en zijn derhalve voorzien van Engelse tekst en annotaties.

### 3 Nauwkeurigheidswaterpassing

Ingenieursbureau Oranjewoud heeft in september 2006 een routine waterpassing (WP 2006) uitgevoerd in het gebied dat door de zoutwinning van FRISIA Zout BV beïnvloed wordt. De meetresultaten en het meetnet zijn gerapporteerd in het 'Meetregister bij het meetplan Barradeel en Barradeel II' Oranjewoud documentnr 1760-78137-08.rap. Dit rapport is op aanvraag in digitale vorm beschikbaar bij FRISIA Zout BV of te downloaden van [www.nlog.nl](http://www.nlog.nl).

De beïnvloeding door zoutwinning is uit de waterpassing bepaald volgens de analytische methode die sinds 1999 door FRISIA toegepast wordt. Deze methode gaat uit van de aanname dat de diepe onttrekking van zoutvolume in een beperkt areaal in de diepe ondergrond leidt tot een rotatiesymmetrische kom aan de oppervlakte. Deze kom is mathematisch te beschrijven. Zo leidt de zoutwinning uit het Barradeel winningvergunning gebied via de dicht bij elkaar liggende BAS 1 en 2 cavernes tot één cirkelvormige dalingskom. De zoutwinning in Barradeel II, die in oktober 2003 aangevangen is via de BAS 3 caveerne, manifesteert zich door een 'eigen' dalingskom die versmelt met de dalingskom in Barradeel.

Tot 2006 werd er een beperkt aantal peilmerken gebruikt om de komparameters te beschrijven. De onderliggende procedure voldeed in de achterliggende periode. Echter met verloop van tijd accumuleren er kleine afwijkingen in de peilmerken, terwijl er een behoefte bestond om de dalingen ten gevolge van zoutwinning met grote nauwkeurigheid te beschrijven omdat de daling ten gevolge van zoutwinning in het Barradeel winningvergunninggebied de opgelegde limiet van 35 cm begint te naderen, de eerste kom in het Barradeel II winningvergunninggebied zich duidelijk begint te ontwikkelen en er een voortschrijdende invloed is van de gaswinning in het zuiden van de zoutwinning.

In de uitwerking van de gegevens van WP 2006 zijn ca 8 keer meer peilmerken in aanmerking genomen voor het vaststellen van de komparameters dan voorheen. Dit is tevens gedaan voor alle 10 voorgaande waterpassingen die FRISIA in het zoutwinningsgebied uitgevoerd heeft. Door de beschikbaarheid van 11 meetmomenten voor de meeste peilmerken was het mogelijk om het gedrag van individuele peilmerken te analyseren en werd het duidelijk dat er een klein aantal peilmerken geëlimineerd moesten worden en een enkele correcties van peilmerkhoogten noodzakelijk waren. Een proces van 14 iteraties in direct overleg met Staatstoezicht op de Mijnen resulteerde uiteindelijk in een door Staatstoezicht goedgekeurde uitwerking van de daling door zoutwinning. De resultaten zijn samengevat in Tabel 1:

B 12 Bowl	Centre 2006 survey:		X=	160,774	Y=	580,040						
		Sep-97	May-98	Jul-99	Sep-00	Sep-01	Sep-02	Feb-03	Sep-03	Sep-04	Sep-05	Sep-06
Gamma		4.50E-07	4.24E-07	4.24E-07	4.24E-07	4.24E-07	4.28E-07	4.31E-07	4.25E-07	4.10E-07	4.08E-07	4.08E-07
Delta		1.983	1.970	1.972	1.978	1.972	1.970	1.970	1.971	1.969	1.967	1.965
z max	cm	2.4	4.5	10.6	15.9	19.9	23.4	25.7	27.6	31.1	31.9	32.4
Conv	m3			1,006,569	1,515,997	1,952,649	2,392,599	2,627,227	2,831,967	3,155,565	3,256,826	3,296,395
dz/dV	m/m3	0.00E+00	0.00E+00	1.06E-07	1.05E-07	1.02E-07	9.76E-08	9.76E-08	9.76E-08	9.87E-08	9.81E-08	9.83E-08

B 3 Bowl	Centre 2006 survey:		X=	163,068	Y=	581,210						
		Sep-97	May-98	Jul-99	Sep-00	Sep-01	Sep-02	Feb-03	Sep-03	Sep-04	Sep-05	Sep-06
Gamma											4.34E-07	4.15E-07
Delta											2.045	2.020
Zmax	cm										2.3	5.3
Conv	m3										206,946	454,256
dz/dV	m/m3										1.10E-07	1.176E-07

**Tabel 1:** Komvorm parameters per jaar voor de dalingskommen van BAS-1&2 (1997-2006) en BAS-3 (2005 en 2006), gebaseerd op een statistische analyse ('versie 14') van de beweging van 97 peilmerken.

De resultaten zijn in goede overeenstemming met voorgaande analyses, met kleine verschillen door de verfijning van de analyse procedure.

Er wordt sinds april 2006 zout gewonnen uit caverne BAS 4, gelegen aan de oostkant van het Barradeel II winningsvergunninggebied. In september 2006 was er nog geen meetbare bodemdaling ten gevolge van zoutwinning uit BAS-4.

Ten behoeve van de financiële afwikkeling van de herstelmaatregelen en het monitoren van de winning in elk van de twee winningvergunninggebieden (Barradeel en Barradeel II) zijn er aparte kaarten gemaakt van de effecten van de afzonderlijke winningen. Deze kaarten zijn verstrekt aan het Waterschap en zijn op aanvraag te verkrijgen bij FRISIA Zout BV.

Het totale effect van zoutwinning sinds het begin in 1995 wordt getoond in bijlage 1. Deze kaart laat de contourlijnen zien in stappen van 2 cm van de totale dalingskom die volgens de geodetische peilmerkanalyse op eind september 2006 aan de zoutwinning in beide winningsvergunninggebieden toegeschreven kan worden. Bijlage 2 toont een dwarsdoorsnede door de centra van de twee dalingskommen en de samengesmolten vorm.

## 4 GPS

Sinds april 2004 staat er een GPS basisstation in Minnertsga en een meetstation op de BAS 1/2/3 winlocatie (B123 GPS Station). Het basisstation staat in een stabiel gebied dat niet door zoutwinning beïnvloed wordt. Het B123 GPS station staat dicht bij het diepste punt van de Barradeel dalingskom. De posities van de stations zijn op de bijgevoegde kaarten getoond.

Met 'differential' GPS wordt alleen het hoogteverschil gemeten tussen de twee stations. De individuele metingen tonen een spreiding van enkele centimeters (lichtgrijze gebied). Door het middelen van de metingen over tijd worden de trendlijnen bepaald die op mm niveau nauwkeurig zijn. FRISIA past trendlijnen toe op basis van voortschrijdende gemiddelden met een periode van 8 weken.

De trendlijnen zijn in september 2004 'opgehangen' aan het diepste punt vastgesteld aan de hand van WP 2004. Het B123 GPS station ligt echter niet precies in het diepste punt. Het diepste punt zal zich gaandeweg verleggen in de richting van de BAS 3 caveerne. Tevens heeft de verfijnde analyse aanleiding gegeven voor een correctie van het 'ophangpunt' van de GPS monitoring grafiek.

De geactualiseerde resultaten sinds het begin van de GPS tot eind april 2007 metingen zijn getoond op de grafiek in Bijlage 3. De grafiek toont de daling van het B123 GPS station. In de periode 2006/2007 moet er 0,7 cm daling toegevoegd worden voor het bepalen van het diepste punt ten gevolge van zoutwinning in de Barradeel en Barradeel II winningvergunninggebieden.

De trendlijnen tonen aan dat sinds de productiestop in eind 2004 sterke afvlakking van de bodemdaling opgetreden is. Echter door het productiegereed houden van en kortstondige winning uit de BAS 1 caveerne in periodes waarin de actieve BAS 3 en 4 cavernes niet beschikbaar zijn, overlapping van de Barradeel II dalingskom en mogelijk andere effecten is er in het afgelopen jaar een daling van het B123 GPS station van 4 mm opgetreden.

## 5 Vergelijking met eerder gepubliceerde dalingscijfers

De volgende tabel vergelijkt de resultaten van de analytische modellering van maart 2007 met eerder gepubliceerde dalingscijfers:

Daling (cm)	PM02@ locatie (grootste daler)	PM63@ locatie	GPS@ positie PM63	Schatting daling tgv productie @BAS3	Daling in centrum B1+2 X= 160.774 Y= 580.224	Daling op positie B3 X= 163.068 Y= 581.210
Gegevens uit meetregisters en continue GPS meting (GPS calibratie in 2004 @ PM02)						
WPsept2004	31,9	31,1	31,9	< 1 cm		
WPsept2005	32,7	31,9	32,7	ca. 2 cm		
WPsept2006	33,3	32,5	33,2	ca. 5 cm		
Resultaten op basis analyse van 97 PM's periode 1995-2006 (komvorm parameters in Tabel 1)						
Sept 2004	autonome daler	30,4 + 0 = 30,4		---	31,1 + 0 = 31,1	3,7 + 0,6 = 4,3
Sept 2005	autonome daler	31,2 + 0 = 31,2		---	31,95+0,05 = 32,0	4,0 + 2,3 = 6,3
Sept 2006	autonome daler	31,7+0, 1 = 31,8	calibratie: ->> 31,8	---	32,4 + 0,2 = 32,6	4,2 + 5,3 = 9,5

**Tabel 2:** Een vergelijking tussen de in eerdere jaren gepubliceerde dalingscijfers en de resultaten uit de analytische modellering van maart 2007. De peilmerken PM 02 en 63 bevinden zich op de locatie Barradeel. De GPS meetantenne staat op het Barradeel pompgebouw, waarin ook PM63 is gemonteerd. PM02 is aangebracht in de zijkant van een opvangbak naast de putmonden van BAS-2 en BAS-3 en is het snelst dalende meetpunt van het gehele meetnet. De geschatte daling als gevolg van zoutproductie uit alleen caverne BAS-3 is ontleend aan geostatistische contourkaarten van Oranjewoud. De cijfers uit de 2007-analyse (onderste gedeelte van de tabel) zijn de met de analytische formules exact berekende dalingen op de aangegeven posities. De wederzijdse beïnvloeding van de komvormen is weergegeven in de vorm van een sommatie. Het eerste getal is het gevolg van productie uit BAS-1&2, het tweede getal is afkomstig van BAS-3 productie.

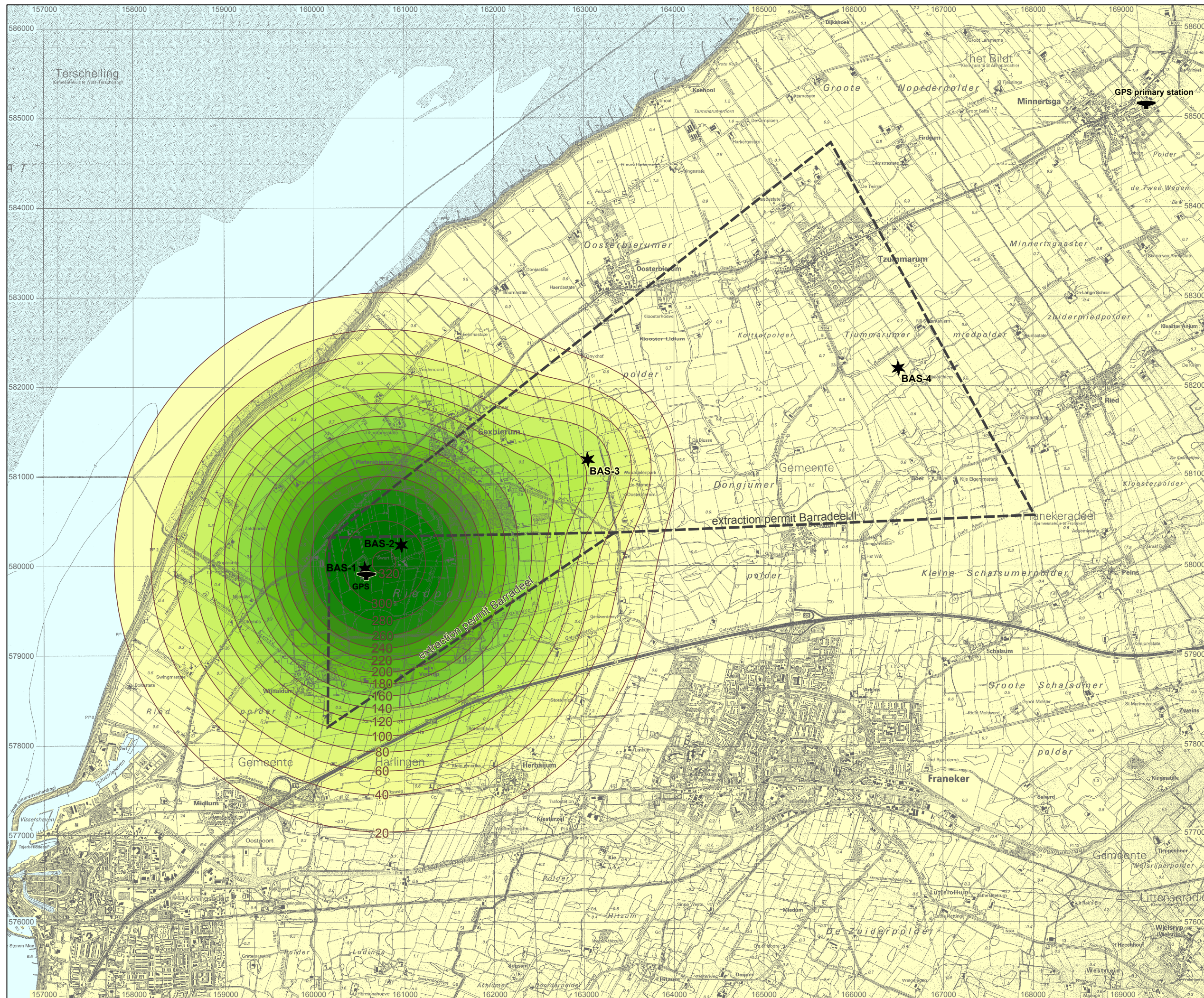
De ligging van de komcentra en het continue GPS meetpunt wordt getoond in Bijlage 4. Op basis van de afstanden (in meters) kan men met het bodemdalingmodel en de juiste komparameters de bijdragen van de zoutwinningen uit BAS-1,2 & 3 op ieder punt berekenen. De detaildoorsnede in bijlage 5 toont het verschil tussen de daling van het B123GPS station en het diepste punt.

## 6 Referenties en bijlagen

1. 'Meetregister bij het meetplan Barradeel en Barradeel II' Oranjewoud documentnr 1760-78137-09.rap, gedateerd 2 november 2006 (digitaal beschikbaar op [www.nlog.nl](http://www.nlog.nl))
2. 'Analysis of Levelling Survey September 2006' v3(final), BECi
3. Bijlage 1: Geschatte invloed zoutwinning Barradeel en Barradeel II 1995 tot september 2005
4. Bijlage 2: Doorsnede B12 – B3 dalingskommen
5. Bijlage 3: GPS resultaten.
6. Bijlage 4: Ligging van de komcentra
7. Bijlage 5: Detaildoorsnede

**Bijlage 1:**  
**Geschatte invloed zoutwinning Barradeel en Barradeel II**  
**1995 tot september 2006**

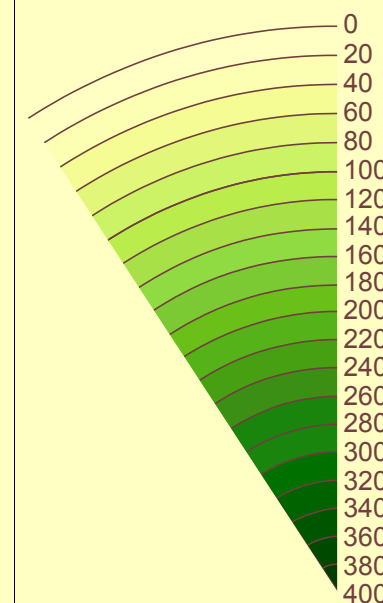




## key

- extraction permit Barradeel and Barradeel II
- BAS-1 ★ cavern
- GPS primary station

## millimeters subsidence



scale :  
0 1 km

Analysis Levelling Survey  
September 2006  
Based on modelling run v14

Subsidence due to All Salt Mining between  
September 1995 and September 2006

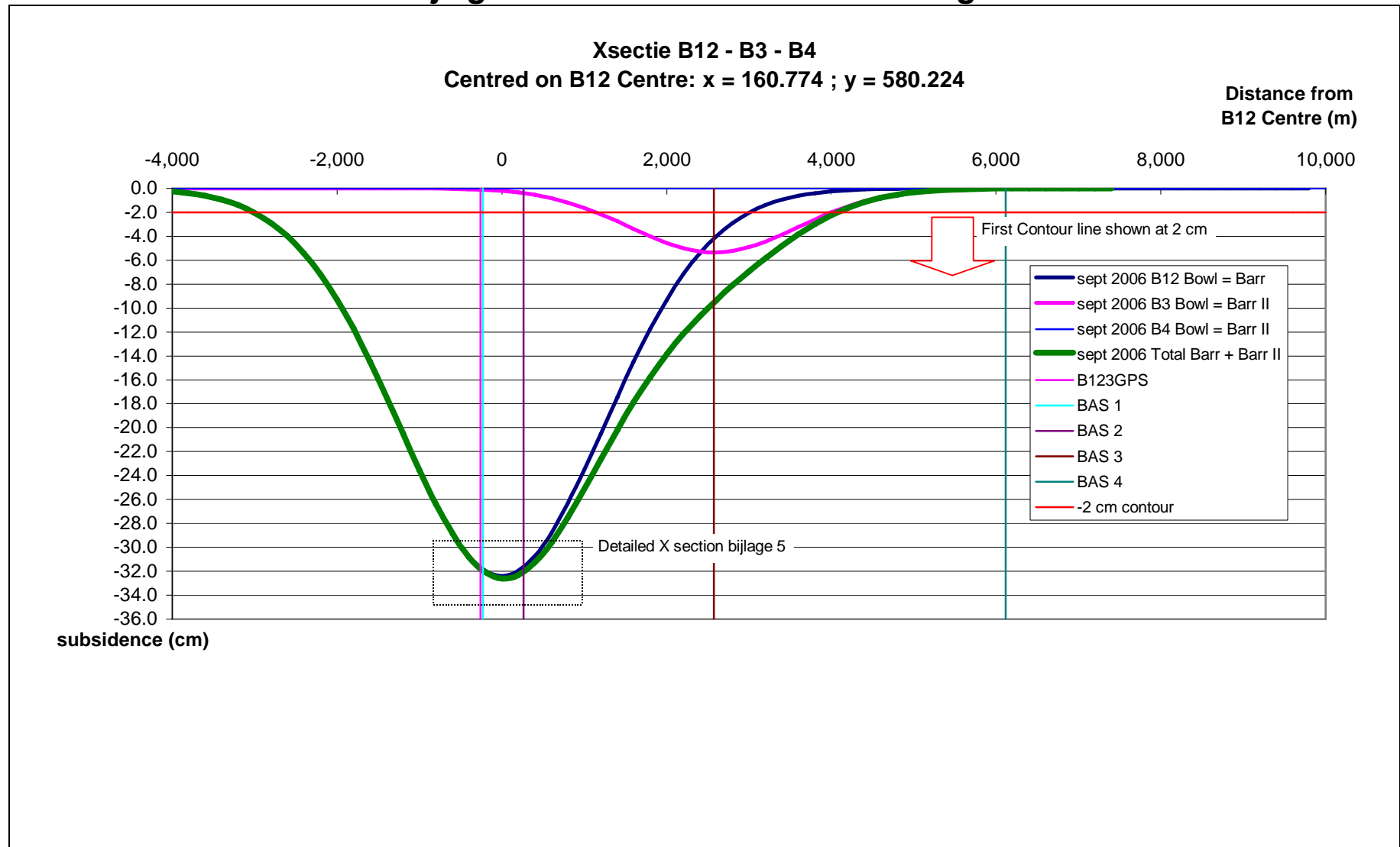
Extraction permit  
Barradeel and Barradeel II

**esco**  
european salt company  
Frisia Zout B.V.

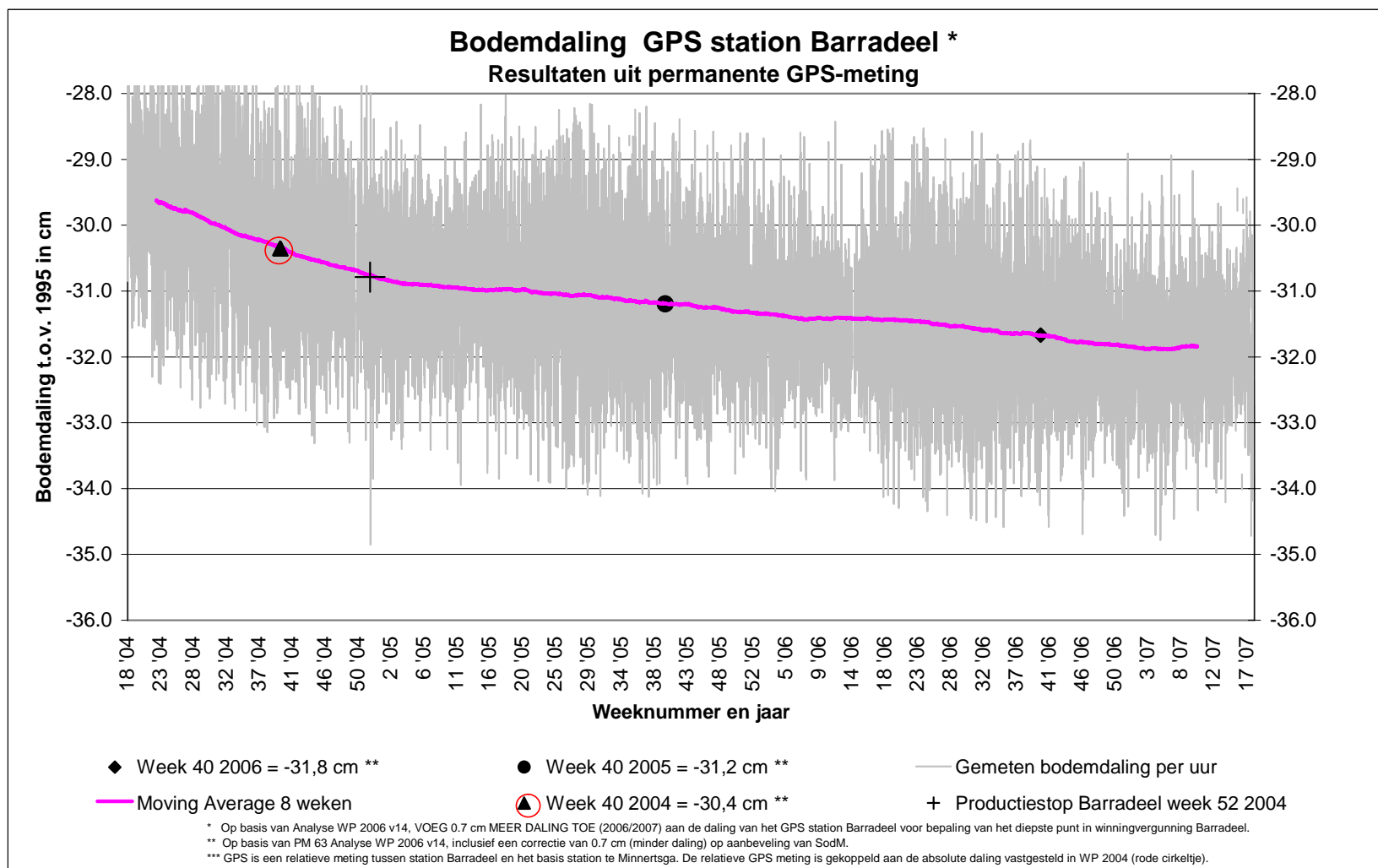
scale:  
1:40.000  
map:  
3  
date issued:  
9 march 2007



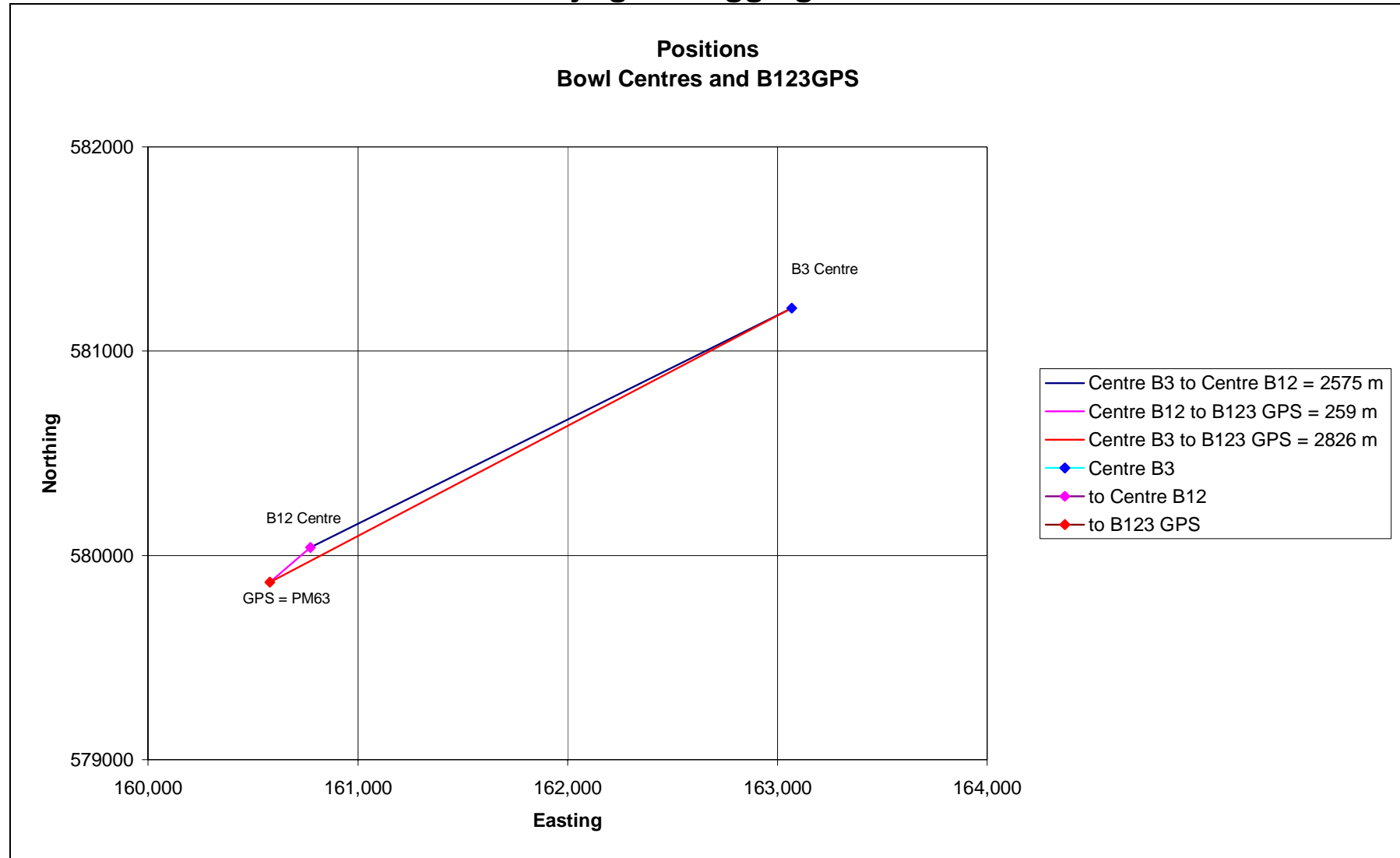
## Bijlage 2: Doorsnede B12 – B3 Dalingskommen



## Bijlage 3: Resultaten GPS



## Bijlage 4: Ligging Komcentra





## Bijlage 5: Detail Doorsnede

