

**Evaluatie langetermijn  
zettingen en meettechnieken  
Bloemendalerpolder**



**Evaluatie langetermijn zettingen en  
meettechnieken  
Bloemendalerpolder**

drs. H.M. van Essen  
dr. ir. E.J. den Haan

1221030-000

## Titel

Evaluatie langetermijn zettingen en meettechnieken Bloemendalerpolder

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Geolimpuls	1221030-000	1221030-000-GEO-0004- jvm	46

## Trefwoorden

a,b,c isotachen, postdictie, zettingen, veen, veengedrag, kruip, ontlasten, grensspanning.

## Samenvatting




Met behulp van de langjarige meetresultaten van het Geolimpulsproject Bloemendalerpolder, waar op een maagdelijk veengebied twee proefterpen zijn aangelegd zijn postdictie zettingsberekeningen uitgevoerd. Door het gedeeltelijk ontgraven van één van de proefterpen is een ontlastsituatie bereikt.

Tijdens een periode van ongeveer 5 jaar zijn zettingen en waterspanningen met verschillende meetinstrumenten gemeten. Door koppeling met neerslag- en polderpeildata zijn maaiveld niveau variaties en autonome reksnelheden ingeschat.

Teneinde validiteit van het a,b,c isotachenmodel te onderzoeken zijn de zettingsgegevens van dit Geolimpulsproject opnieuw geanalyseerd, uitgaande van uit  $K_0$ CRS proeven afgeleide zettingsparameters. Er is alleen gekeken naar verticale zettingen, niet naar de zijwaartse vervorming van de ondergrond en van de aangebrachte stalen heipalen, die ook onderwerp van onderzoek waren. Speciale aandacht gaat hierbij uit naar het ontlast- en herbelastgedrag in relatie tot de mogelijkheid van het bestaan van een eindisotach, de isotach waarbij de reksnelheid 0 is. Deze maakt geen onderdeel van het huidige a,b,c, isotachenmodel.

De zettingsparameters zijn op een nieuwe manier uit de proeven verkregen, namelijk door het invers fitten van de proefresultaten aan het a,b,c, isotachenmodel. Hiervoor is een spreadsheet ontwikkeld, dat wellicht als basis kan dienen voor een verbeterde standaarduitwerking.

Er worden goede fits tussen metingen en berekeningen verkregen, een bewijs voor de validiteit van het a,b,c isotachenmodel. Alleen op de grensspanning is een factor 1,3 tot 1,4 nodig, de oorzaak van deze afwijking is voorsnog niet volledig helder. Het temperatuurverschil tussen het lab en de grond speelt in ieder geval een significante rol hierin. Uiteraard is dit slechts 1 case, uit verder onderzoek moet blijken of dit een structurele afwijking betreft en zo ja, wat de oorzaak van deze afwijking is.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	nov. 2017	drs. H.M. van Essen		dr. ir. C. Zwanenburg		ir. L. Voogt	

## Status

definitief

## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Achtergrond	1
1.2 Leeswijzer	2
<b>2 Beschrijving proeflocatie</b>	<b>3</b>
<b>3 Beschrijving veld- en laboratoriumwerkzaamheden</b>	<b>5</b>
3.1 Monitoring	5
3.1.1 Extensometers	5
3.1.2 Waterspanningmeters	6
3.1.3 Uitvoering metingen monitoring	7
3.2 Aanvullende monitingsdata	7
3.3 Boringen	7
3.4 K <sub>0</sub> CRS proeven	8
<b>4 Resultaten en randvoorwaarden zettingsberekeningen</b>	<b>10</b>
4.1 Inleiding	10
4.2 Begemannboringen	10
4.3 Waterniveaus	11
4.3.1 Peilbuizen	11
4.3.2 Vibrating wire piezometers	12
4.4 Volumiek gewicht	14
4.4.1 Terpen	14
4.4.2 Veen	15
4.5 Zettingsparameters	16
4.5.1 Grensspanning	17
4.5.2 Isotachen abc parameters	19
4.6 Autonome zakkingsnelheid	21
4.6.1 Gevoeligheid autonome zakkingsnelheid voor variatie van parameters	23
<b>5 Interpretatie extensometers en D-Settlement berekeningen</b>	<b>25</b>
5.1 VWP Extensometers	25
5.2 DSettlement berekeningen	28
<b>6 Analyse</b>	<b>34</b>
6.1 Spannings-rek relaties	34
<b>7 Discussie</b>	<b>41</b>
<b>8 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>44</b>
8.1 Conclusies	44
8.2 Aanbevelingen	45
<b>Literatuur</b>	<b>46</b>

**Bijlage(n)**

<b>A</b>	<b><math>p_{g1}/p_{g2}</math> discussie</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>Invers fitten <math>K_0</math>CRS proeven - spreadsheet tool</b>	<b>B-1</b>
<b>C</b>	<b><math>K_0</math>-CRS proeven</b>	<b>C-1</b>
<b>D</b>	<b>Lagenmodel Terp T2</b>	<b>D-1</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Project Bloemendalerpolder te Weesp heeft een in-situ zettingsproef uitgevoerd in samenwerking met Fugro Geoservices en Deltares. De proef bestaat uit het aanbrengen van twee proefterpen met uitgebreide en langdurige monitoring met verschillende meettechnieken. Het in het kader van project Bloemendalerpolder uitgevoerde meetprogramma is na 1 jaar voortgezet onder verantwoordelijkheid van Geolimpuls gedurende een aanvullende periode van 4 jaar. De proef is ondergebracht in het Geolimpuls programma van projectgroep 9 "Lange termijn metingen en modelvalidatie". Deltares heeft aanvullend veld- en laboratoriumonderzoek uitgevoerd en de monitoring uitgebreid.

De metingen hebben meerdere doelstellingen:

- Het verbeteren van zettingspredicties door verificatie van modellen en parameters.
- Beter inzicht krijgen in lange termijn zettingen.
- Beter inzicht in het zettingsgedrag na ontlasten.
- Beter inzicht in de zetting van veen.
- Beter inzicht verkrijgen op het effect van zettingen op horizontale vervorming van grond en funderingspalen rond de proefterpen.

Zettingsvoorspellingen op de lange termijn vertonen regelmatig afwijkingen met de werkelijkheid. Enerzijds is dit het gevolg van de bepaalde zettingsparameters en dan met name de kruipparameters die vaak niet nauwkeurig genoeg bepaald worden, anderzijds van het feit dat de parameters bepaald zijn op kleine grondmonsters waarmee slechts puntinformatie verkregen wordt die representatief wordt geacht voor een zich horizontaal en verticaal uitstreckende, niet altijd homogene grondlaag. Echter ook tekortkomingen in de zettingsmodellen zijn debet aan optredende verschillen. Het a,b,c, isotachenmodel [Den Haan, 2003] is een, redelijk recent, door Deltares ontwikkeld model waarmee vooral grotere zettingen van slappe veen en kleilagen beter gemodelleerd worden dan de andere, in Nederland toegepaste modellen, als het NEN-Bjerrum- en het Koppejanmodel. Het gedrag na ontlasten wordt beschouwd als een punt waarop dit a,b,c, istochenmodel verbeterd kan worden.

Door verbetering van de zettingsmodellen zijn faalkosten of herstelkosten, die regelmatig nodig zijn voor maatregelen om aan de restzettingseisen te voldoen, naar verwachting minder nodig of kunnen naar verwachting gereduceerd worden.

Voorliggend rapport bevat de resultaten van de zettingsmetingen op proefterpen in de Bloemendalerpolder en de verschillende meettechnieken worden met elkaar vergeleken. Ook zijn klimaatgegevens en gegevens van het waterschap gebruikt teneinde de eventuele invloed van deze variabelen op de meetresultaten te verdisconteren. Er wordt alleen aandacht besteed aan de zettingen, niet aan horizontale vervormingen.

Zettingen zijn nagerekend met het in D-Settlement (versie 16.1) beschikbare a,b,c isotachenmodel, waarbij de parameters uit laboratoriumproeven ( $K_0$ CRS) zijn verkregen.

Aandacht gaat hierbij onder andere uit naar het zettingsgedrag bij het aanbrengen en verwijderen van overhoogte en de aanwezigheid van consolidatieversnellende maatregelen.

## 1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de proeflocatie in de Bloemendalerpolder beschreven. Naast de ligging van de terpen wordt de achtergrond van de locatie met behulp van kaarten gepresenteerd waarin de diverse meettechnieken zijn aangegeven. De toegepaste meettechnieken in het veld en het laboratorium worden beschreven in hoofdstuk 3.

In hoofdstuk 1 worden de resultaten van de metingen beschreven, vanaf de beschrijvingen van de boringen, resultaten van de monitoring in het veld tot de laboratoriumresultaten. Daarnaast wordt getracht waar mogelijk de verschillende meetdata te koppelen, bijvoorbeeld de variaties in maaiveldniveau aan de neerslagdata.

In hoofdstuk 5 worden de zettingen gemeten met de VWP extensometermetingen geïnterpreteerd en reksnelheden afgeleid. De gemeten zettingen worden teruggerekend met behulp van D-Settlementberekeningen.

Hoofdstuk 6 beschrijft de analyse van alle metingen. Hierin worden spannings-tek relaties afgeleid en de verschillende parameters van de  $K_0$ -CRS proeven, op de klassieke wijze en een nieuw ontwikkelde methode waarmee de proef wordt nagerekend met het isotachenmodel. In hoofdstuk 7 worden de resultaten bediscussieerd, waarna in hoofdstuk 8 conclusies worden getrokken en een aantal aanbevelingen gedaan wordt.

## 2 Beschrijving proeflocatie

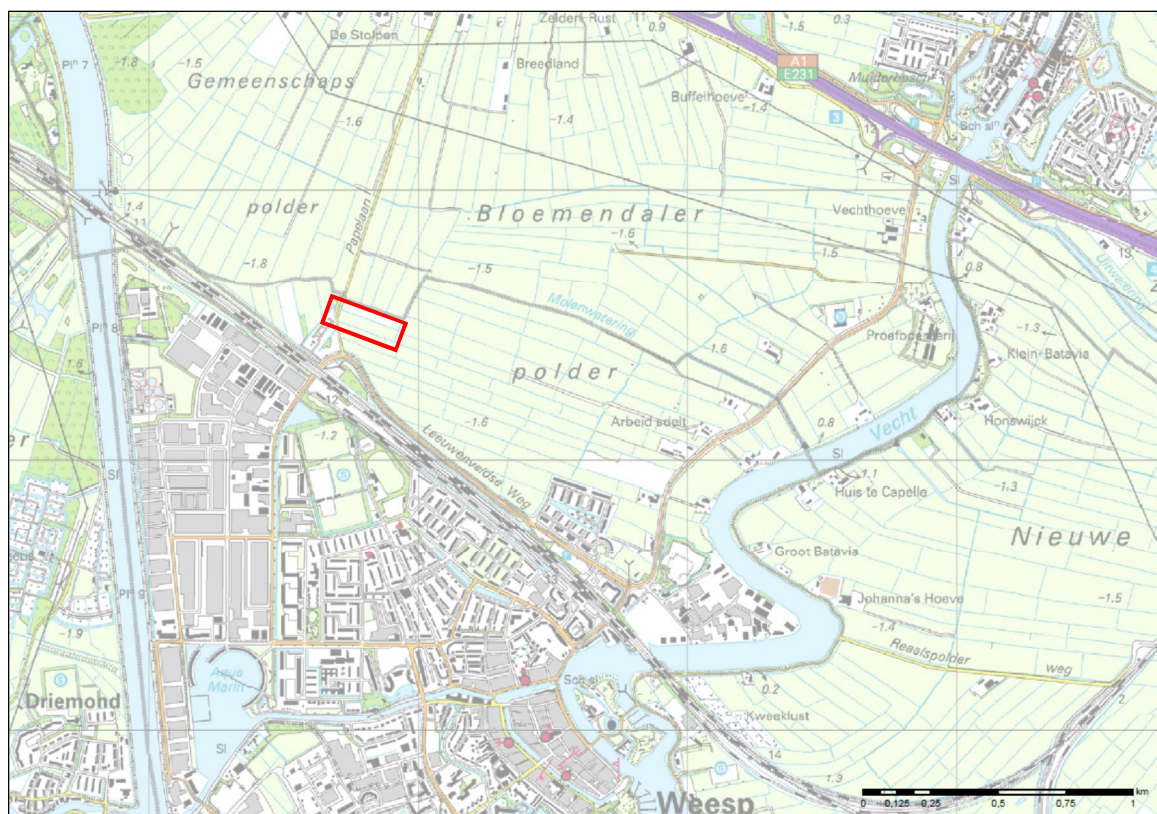
De onderzoekslocatie is gelegen in de Bloemendalerpolder tussen Muiden en Weesp (zie Figuur 2.1). Voor het onderzoek worden twee proefophogingen aangebracht (zie Figuur 2.3). Terp 1 wordt zonder zettingsversnellende maatregelen aangelegd. Onder terp 2 wordt verticale drainage toegepast. Tevens is een referentielocatie ingericht. Voor de details van de afmetingen en hoogte van de terpen en de specificatie van de drainage wordt verwezen naar [Fugro, 2010].

Locatie/code	Naam	Omschrijving
T1	terp 1	terp zonder verticale drainage
T2	terp 2	terp met verticale drainage
R0	ref	Referentielocatie

Tabel 2.1 Codering onderzoekslocaties

De totale aanleg heeft plaatsgevonden tussen eind oktober 2010 en maart 2011. De totale aangebrachte ophoging bedroeg 3 meter, waarvan 0,5 meter na circa 10 maanden weer is verwijderd. De totale zetting bedroeg circa 2 meter.

In Bijlage A is een gedetailleerde overzichtstekening van de onderzoekslocatie weergegeven waarin alle onderzoekslocaties voor het veldonderzoek zijn uitgezet en gecodeerd. De onderzoekslocaties zijn door Fugro uitgezet, waarbij de hoogtes zijn weergegeven ten opzichte van NAP met behulp van GPS-RTK. De RD coördinaten en NAP hoogtes zijn opgenomen in Bijlage 1 van [Fugro, 2010]. In voorliggend rapport is dezelfde codering van onderzoekslocaties gebruikt (zie Tabel 2.1).

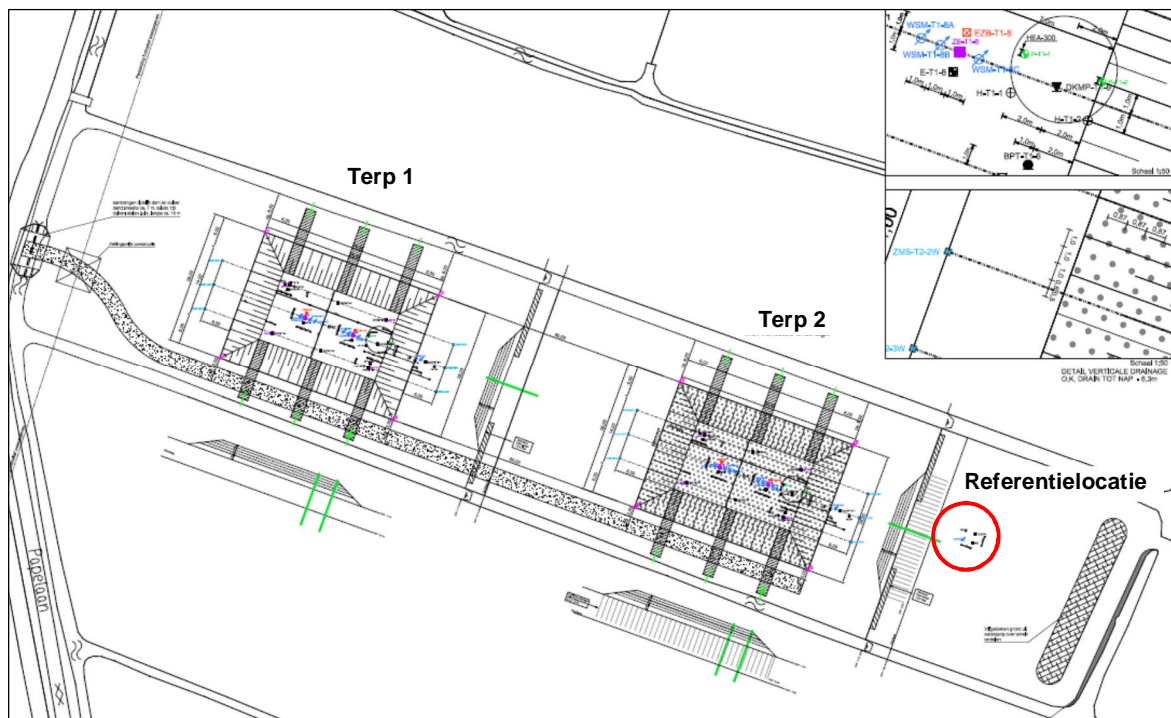


Figuur 2.1 Overzicht onderzoekslocatie





Figuur 2.2 Overzicht uiteindelijke ontwikkeling (bron: project Bloemendalerpolder)



Figuur 2.3: Overzicht terpen en referentielocatie (bron: Fugro)

### 3 Beschrijving veld- en laboratoriumwerkzaamheden

#### 3.1 Monitoring

Eind september 2010 is gestart met de installatie van extensometers en waterspanningmeters. Voor de plaatsing van de extensometers is gebruik gemaakt van een mini boorrups van Fugro. De waterspanningmeters zijn door een mini sondeerrups van Deltares weggedrukt.

##### 3.1.1 Extensometers

De extensometers bestaan uit ankers die op meerdere dieptes in de grond verankerd worden. Deze ankers volgen de zetting van de grondlaag op de installatiediepte. Om de zetting te meten zijn staven aan de ankers bevestigd die boven het maaiveld uitsteken.



Figuur 3.1 Borros anker

Vanwege de zachte grond is gekozen voor ankers van het type 'double action Borros'. Hierbij worden, net als bij het hierboven afgebeelde 'single action Borros' anker (Figuur 3.1), drie nagels aan de onderzijde van het anker in de grond gedrukt en daarnaast drie nagels aan de bovenzijde van het anker.

De extensometers zijn geplaatst in boorgaten. In Tabel 3.1 zijn de locatiegegevens van de extensometers opgenomen.

Locatie	X coördinaat [m]	Y coördinaat [m]	Maaiveldhoogte t.o.v. NAP [m]
E-T1-7	130758,90	481514,60	-1,80
E-T1-8	130768,30	481511,20	-1,81
E-T2-7	130839,90	481485,30	-1,84
E-T2-8	130849,20	481481,90	-1,90
E-30	130889,51	481471,52	-1,72

Tabel 3.1 Locaties extensometers

Per boorgat zijn steeds vijf extensometerankers geplaatst. Het eerste, het referentieanker, op een diepte van circa NAP -16 meter in het pleistocene zand. Dit punt is gekozen onder kleilaagjes die bij eerder grondonderzoek in deze omgeving zijn aangetroffen. Bij de boringen voor de extensometers zijn deze lagen echter niet duidelijk of niet aangetroffen.

Het tweede extensometeranker is direct onder het veen in het zand geplaatst. De overige drie ankers zijn verdeeld over het veenpakket. Zie Tabel 3.2 voor de installatiedieptes.

Locatie	Ankerdieptes ten opzichte van NAP bij plaatsing [m]					
	Anker 1	Anker 2	Anker 3	Anker 4	Anker 5	Maaiveld
E-T1-7	-17,69	-6,29	-5,07	-4,07	-3,04	-1,80
E-T1-8	-16,53	-6,05	-4,86	-3,83	-2,85	-1,81
E-T2-7	-16,66	-7,80	-6,31	-4,82	-3,34	-1,84
E-T2-8	-16,62	-7,82	-6,23	-4,74	-3,25	-1,90
E-30	-16,42	-8,12	-6,02	-4,52	-3,22	-1,72

Tabel 3.2 Installatiedieptes extensometerankers

In het zand zijn de boorgaten aangevuld met filtergrind. In het veen is aangevuld met een licht grotmengsel in een verhouding van 1 deel cement en 1,2 deel bentoniet op 8 delen water.

In het begin van de metingen, zijn de zettingen (extensometers) met de hand afgelezen, na verloop van tijd, nadat de zettingssnelheden waren afgenomen, zijn de extensometers afgewerkt met een verplaatsingsopnemer die uitgelezen worden met een logger. De referentie extensometer, als onderdeel van de set op 1 locatie, is eveneens voorzien van verplaatsingsopnemers en automatisch gemeten. Zie Figuur 3.2 voor een afbeelding van het installeren van de verplaatsingsopnemers bij locatie E-30.



Figuur 3.2 Meetkop referentie extensometer

### 3.1.2 Waterspanningmeters

Bij de referentielocatie zijn door Deltares vier waterspanningmeters weggedrukt. In Tabel 3.3 zijn per locatie de installatiedieptes opgenomen. De waterspanningmeters zijn van het vibrating wire type. Hier is voor gekozen omdat deze opnemers ook op lange termijn stabiel zouden zijn, dat met deze metingen kan worden geverifieerd. Ze zijn aangesloten op een logger die op vaste intervallen meet.

Locatie WSM	X coörd. [m]	Y coörd. [m]	Maaiveld t.o.v. NAP [m]	WSM t.o.v. NAP [m]
30-1	130887,43	481471,42	- 1,81	- 3,24
30-2	130887,52	481471,99	- 1,80	- 4,75
30-3	130887,65	481472,46	- 1,79	- 6,23
30-4	130888,03	481473,02	- 1,74	- 9,16

Tabel 3.3 Locaties waterspanningmeters

### 3.1.3 Uitvoering metingen monitoring

Voor aanvang van het aanleggen van terp 1 en terp 2 zijn nulmetingen uitgevoerd. Deze dienen als uitgangspunt voor het bepalen van de veranderingen in de waterspanning en de bepaling van het zettingsverloop. Gedurende de eerste vijf maanden zijn de extensometers tijdens het aanbrengen van de ophoogslagen van de terpen met een interval van 1 week gemeten. Na gereedkomen van de terpen in februari 2011 is het meetinterval geleidelijk aangepast tot 1 keer per 4 weken in augustus 2011.

De metingen van de waterspanningmeters en de extensometers op de referentielocatie worden automatisch 1 keer per 2 uur uitgevoerd. De logger registreert de tijd in MET ('wintertijd').

## 3.2 Aanvullende monitingsdata

Voor een juiste interpretatie van de gemeten zakkingen en verificatie met zettingsmodellen is het van belang het niveau van het grondwater op de desbetreffende locatie te weten. Vooral bij de extreem lage effectieve spanningen is het niveau van groot belang. Dit niveau is afhankelijk van neerslag en wijzigingen van het polderpeil, beide data zijn opgevraagd en gebruikt.

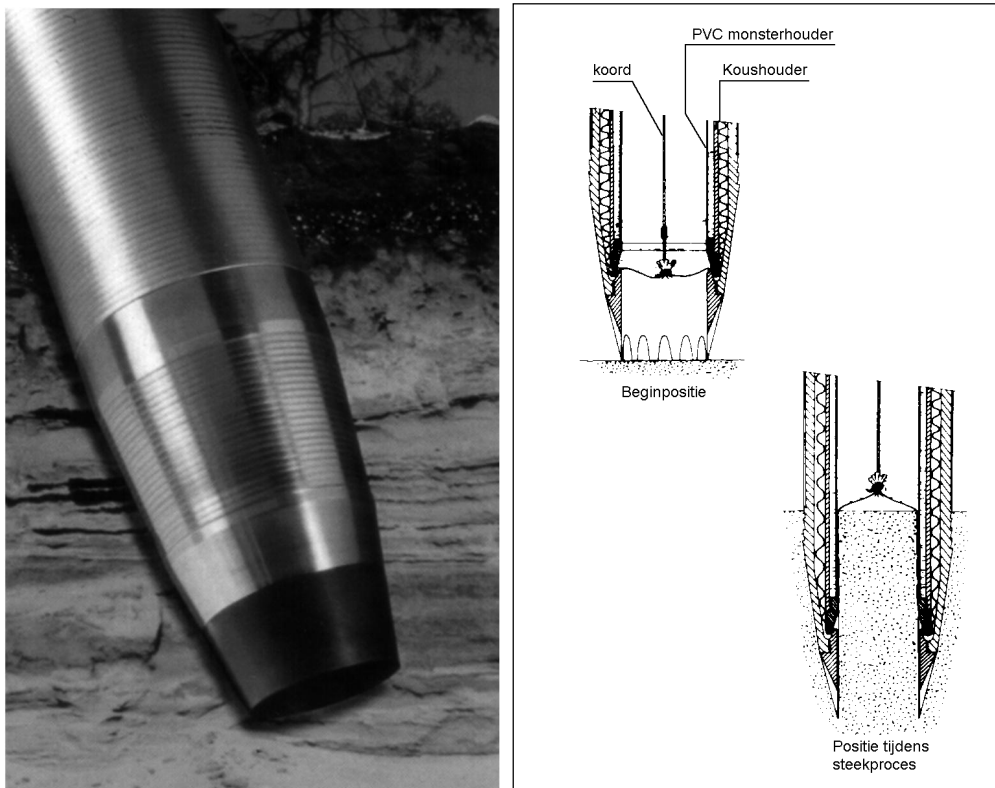
Door Waternet zijn de volgende opmerkingen bij de waterpeilen gegeven: "Het gehanteerde oppervlaktewaterpeil is voor het grootste deel van de polder NAP - 2,15 m. Langs de Vecht en langs het Amsterdam Rijn Kanaal is het peil NAP - 1,97 m. Het waterpeil ter hoogte van de reeds aanwezige bebouwing aan de zuidzijde ligt op NAP - 2,05 m.

Aan de oostzijde kan water worden ingelaten vanuit de Vecht. Aan de westzijde staat eenemaal die het water uit de Bloemendalerpolder uitslaat op het Amsterdams Rijnkanaal."

Het polderpeil is gerefereerd aan Waternet peilbuis G10001C in Weesp. Deze ligt op circa 900 meter van de terpen. Het staat in de zogenaamde eerste zandlaag, die in Weesp aanmerkelijk hoger ligt dan in Amsterdam. Het filter bestrijkt de diepte – 6,0 tot – 7,0 m NAP (X= 131410, Y=480789).

## 3.3 Boringen

Er zijn drie Begemann boringen uitgevoerd, één in elke terp en één op de referentielocatie. Deze zijn gebruikt ter vaststelling van de bodemopbouw op elke locatie en het verkrijgen van monstermateriaal voor de laboratoriumproeven.



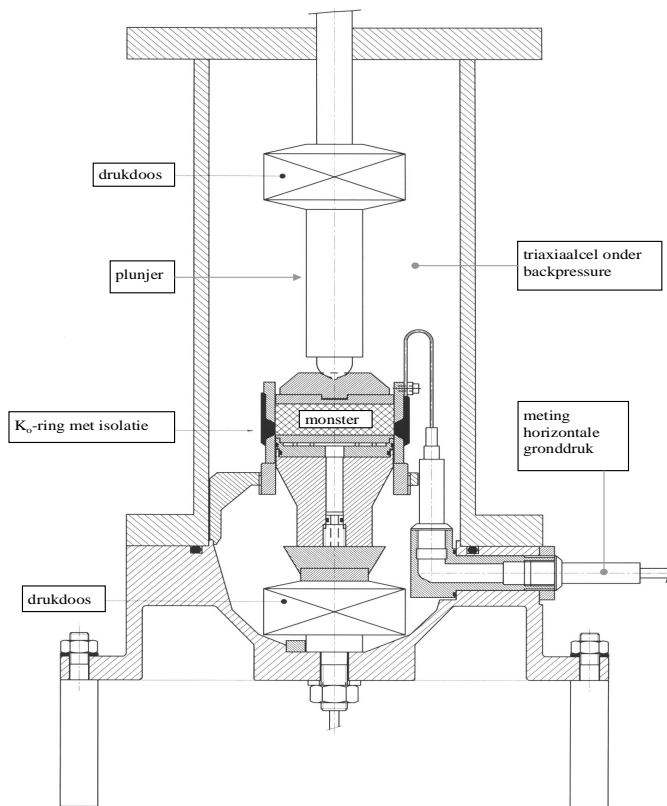
Figuur 3.1 Steekmond en werking Begemannmonstersteker  $\varnothing$  66 mm

### 3.4 $K_0$ CRS proeven

De  $K_0$ CRS proef wordt uitgevoerd in een geavanceerd samendrukkingsapparaat. Met de  $K_0$ -CRS proef is het mogelijk om uit één proef veel modelparameters te bepalen, bijvoorbeeld van het Soft Soil Creep model. De  $K_0$ -CRS proef wordt in een aangepaste triaxiaalopstelling uitgevoerd, zie Figuur 3.2.

Deltares gebruikt twee opstellingen met langzame verplaatsingssturing voor de bovenbelasting. De minimale snelheid is ongeveer 0,2 mm/dag. De maximale verticale druk op de bovenplaat is circa 600 kPa.

Voor de horizontale drukmeting wordt een speciale monsterhouder gebruikt met een inwendige diameter van 65 mm. Deze monsterhouder bestaat uit een metalen ring waarbij in de onderste 2 cm een verjonging is aangebracht. Op het niveau van deze verjonging heeft de monsterhouder een wanddikte van slechts 0,6 mm en zijn rekopnemers bevestigd om de horizontale spanning te meten. Ten gevolge van de hoge temperatuurgevoeligheid van de rekopnemer worden de proeven in een ruimte met constante temperatuur (21 °C) uitgevoerd.



Figuur 3.2 Schema van de K0-CRS-opstelling

Het monster draineert aan de bovenzijde. Aan de onderzijde wordt de waterspanning gemeten. De initiële monsterhoogte bedraagt 20 of 31 mm, afhankelijk van de verwachte zetting van het monster. De belasting wordt zowel boven als onder het monster gemeten, waarmee de wandwrijving wordt gecompenseerd.

Aan het begin van de proef wordt het nulpunt van de verplaatsing ingeregeld met een lichte bovenbelasting van ongeveer 3 kPa. Het monster wordt, in tegenstelling tot een standaard samendrukkingsproef, met een constante verplaatsing gedeformeerd. Deze is voor klei en veen standaard 3,3 mm/dag. Hierbij geldt als voorwaarde dat de relatieve waterspanning globaal tussen 5% en 25% van de bovenbelasting bedraagt. Als dit niet het geval is, wordt de snelheid aangepast.

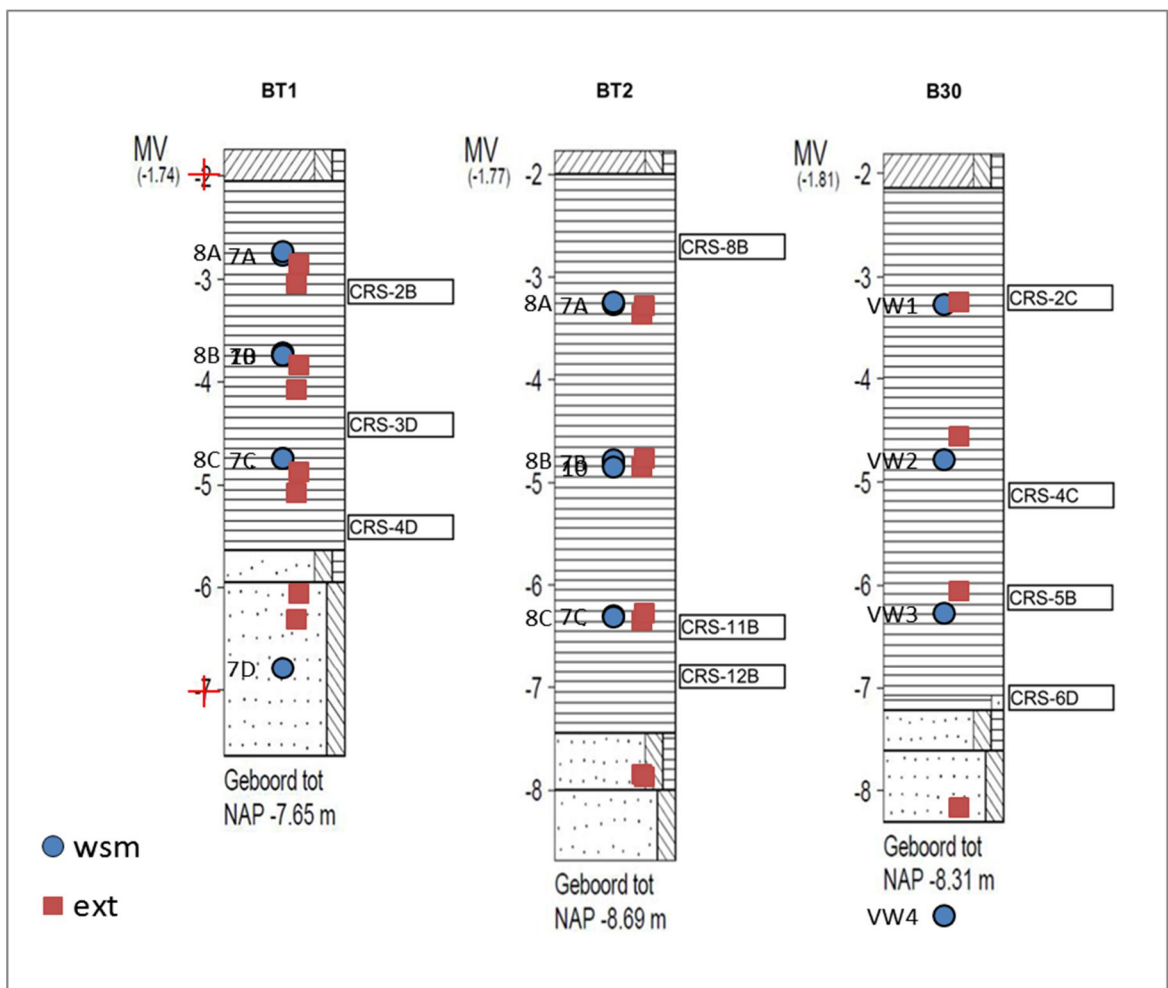
## 4 Resultaten en randvoorwaarden zettingsberekeningen

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de variabelen behandeld die als uitgangspunten dienen voor de zettingsberekeningen, zoals bodemopbouw, (grond)waterniveau en dergelijke.

### 4.2 Begemannboringen

In Figuur 4.1 zijn de beschrijvingen van de Begemannboringen grafisch tezamenweergegeven.



Figuur 4.1 Grafische weergave Begemannboringen

Hierin is:

- BT1 : Boring terp 1.
- BT2 : Boring terp 2.
- B30 : Boring referentielocatie.
- Wsm : waterspanningsopnemer
- Ext : extensiometer

In deze figuur zijn tevens de locaties van de waterspanningsopnemers, extensiometers en monsters, waarop de  $K_0$ CRS proeven zijn uitgevoerd, weergegeven. Er is meer veen bij Terp 2 en de referentielocatie. De peilbuis van Waternet op een afstand van 900 meter staat op een diepte van 6 tot 7 meter –NAP al in het zand. De diepte ligging van het veen in BT2 en B30 is dus mogelijk een lokale afwijking.

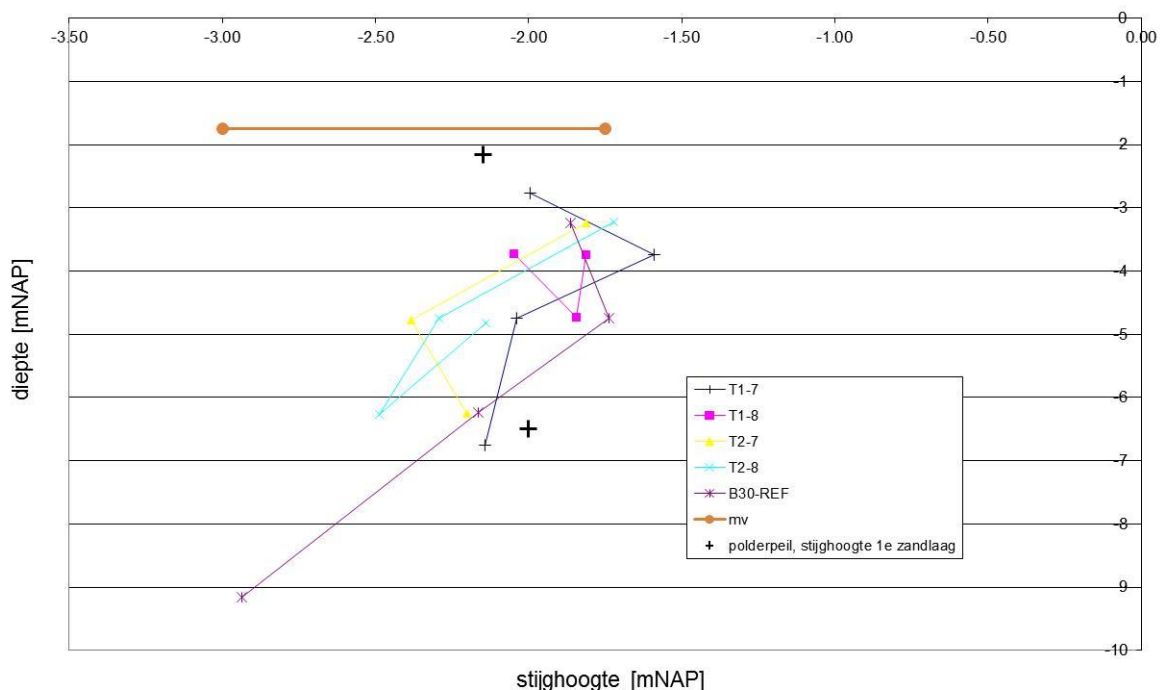
Dit rapport concentreert zich voor wat betreft de zettingen op Terp 2, maar gebruikt ook de gegevens van de referentielocatie voor een analyse van de 'autonome' zakkingsnelheid.

### 4.3 Waterniveaus

#### 4.3.1 Peilbuizen

De meting van de peilbuis G10001C laat een constante waarde zien van circa -2,0 m NAP tot voorjaar 2012. Daarna treedt een gestage toename in tot circa 1,85 m - NAP in voorjaar 2015.

Figuur 4.2 geeft de nulsituatie van de stijghoogte weer voor alle beschikbare waterspanningsmeters bij de terpen en de referentielocatie. Het beeld is nogal diffuus, mogelijk speelt regenwaterinfiltratie hierbij een rol.



Figuur 4.2 Stijghoogteverloop over de diepte in de uitgangstoestand

De nulmeting van Fugro waterspanningsmeter T1-7D in het diepe zand op – 6,76 m NAP heeft een stijghoogte van – 2,14 m NAP. De eindwaarde ligt ook in deze buurt. Dat is iets dieper dan de Waternet peilbuis. Voor de simulaties wordt gekozen voor een stijghoogte in het onderliggende zand van – 2,1 m NAP.

De in het algemeen hogere stijghoogte in het midden van de veenlaag (tot wel – 1,5 m NAP) ten opzichte van het oppervlaktewater (-2 à -2,1 m NAP) wordt in de simulaties verwerkt door de grondwaterstand hoger te kiezen dan polderpeil, namelijk op – 1,9 m NAP. De grondwaterstand ligt vrij hoog, en zal tijdens de aanleg hoger liggen door inzijgend water. Verwacht wordt dat er opbolling van het freatische vlak zal zijn onder de terp.

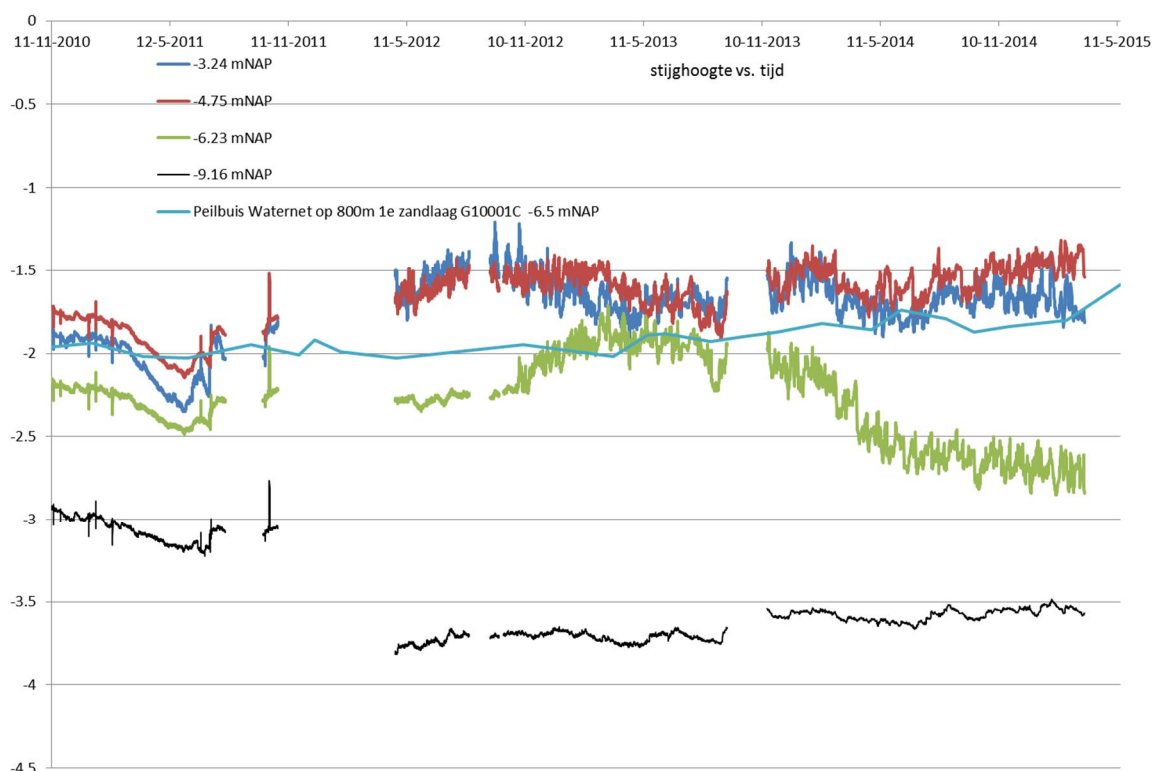


Samenvattend:

- Grondwaterstand -1,9 m NAP.
- Stijghoogte onderliggend zand -2,1 m NAP, rechtlijnig verlopend in het veen.

#### 4.3.2 Vibrating wire piezometers

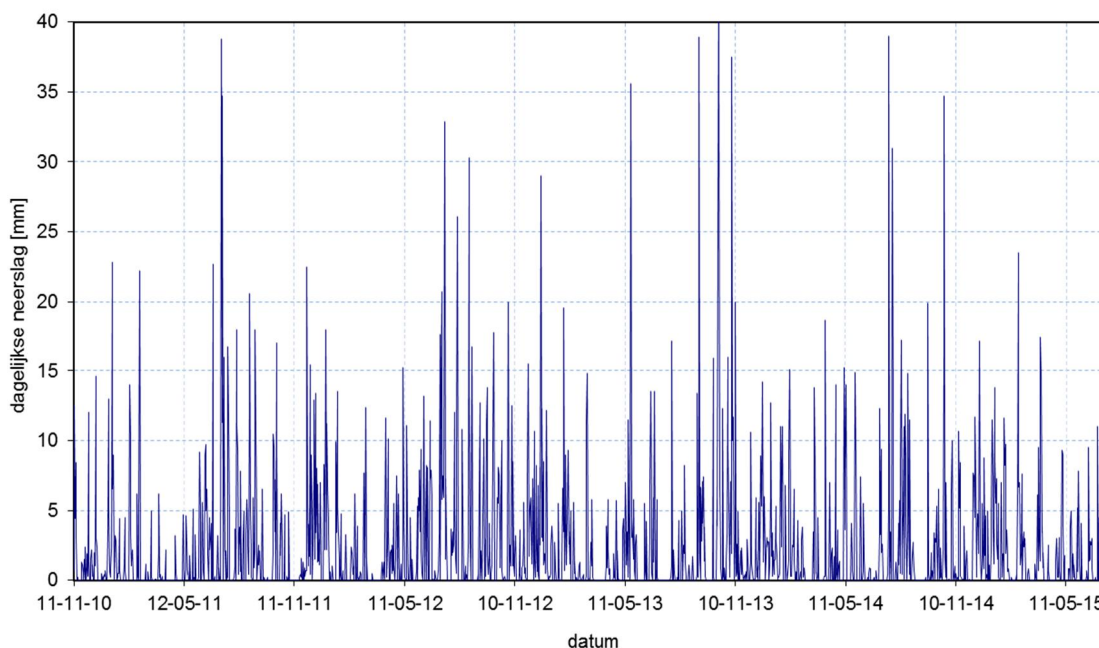
In Figuur 4.3 is het verloop van de stijghoogten weergegeven zoals deze door middel van de Vibrating Wire Piezometers (VWP) van Deltares gemeten zijn.



Figuur 4.3 Stijghoogteverloop (in m NAP), Deltares VWP's bij de referentielocatie, en Waternet Peilbuis

VWP VW4 ligt in het diepe zand, op – 9,16 m NAP. Dit is dieper dan T1-7D en de Waternet peilbuis omdat de veenlaag ter plaatse dieper is. De stijghoogte die VW4 aangeeft is met - 3 m NAP aanmerkelijk lager dan de peilbuis en T1-7D, en lijkt daarmee niet geloofwaardig. De waarde daalt nog eens aanzienlijk na de herstart in voorjaar 2012 naar – 3,6 m NAP.

Teneinde te beoordelen in hoeverre variaties in grondwaterstand een relatie heeft met regenval, zijn de neerslaggegevens bij Weesp opgevraagd, deze zijn grafisch weergegeven in Figuur 4.4.

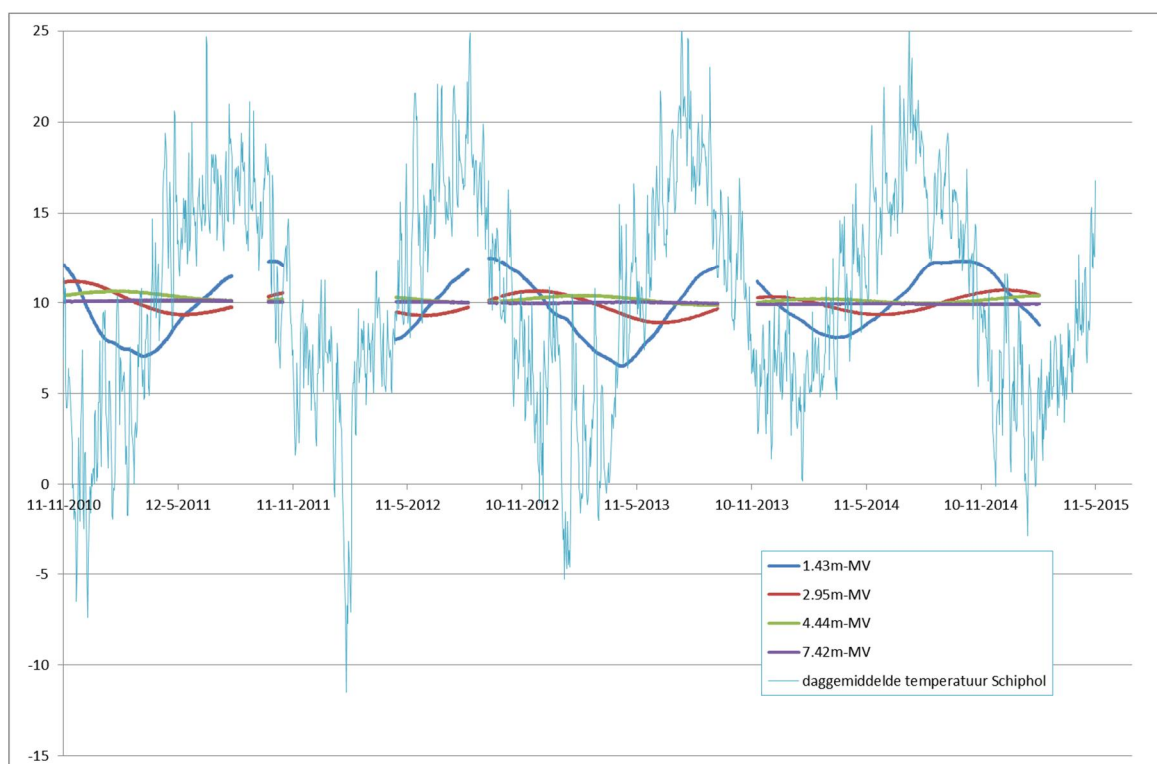


Figuur 4.4 Regenval bij Weesp in dezelfde periode als in Figuur 4.3 is weergegeven

De hoger gelegen VWP's fluctueren fors na de herstart. De hoge waarde van de twee bovenste VWP's en de sterke daling van VW3 vanaf begin 2013 valt dan op. Met behulp van de in Figuur 4.4 weergegeven regenval is beoordeeld of hier samenhang tussen kan zitten, maar dit lijkt niet het geval.

De VWP's blijken wel een goed inzicht te geven in het verloop in de tijd en de verdeling over de diepte van de grondtemperatuur, zie Figuur 4.5. De VWP's meten ook de temperatuur omdat de trillende snaren (vibrating wires) extreem gevoelig zijn voor temperatuur en daarmee gecorrigeerd worden.

Een gemiddelde grondtemperatuur van 10°C lijkt een redelijke aanname, met een grotere fluctuatie dichter bij het maaiveld. De piekwaarde verschuift ten opzichte van de luchttemperatuur naarmate de diepte toeneemt, en bij een diepte van circa 5 m is de beweging volledig in tegenfase met de luchttemperatuur.



Figuur 4.5 Korte termijn temperatuurverloop VWP waterspanningsopnemers op de referentielocatie en daggemiddelde temperatuur Schiphol

## 4.4 Volumiek gewicht

### 4.4.1 Terpen

In [Deltares 2013] zijn resultaten van de voltooide terpen gerapporteerd. Hierin worden onder meer volumieke massa's van de veenlaag bepaald op monsters uit Begemannboringen door de terpen en vlak daarnaast vanaf het ongestoorde maaiveld. De resultaten voor het ontlaste deel van Terp 1 zijn in Tabel 4.1 weergegeven.

Boring A Bus nr	Diepte *) [m-MV]	Lengte monster [cm]	Gewicht [gram]	Volume monster [cm <sup>3</sup> ]	Verzadigd Vol.gewicht $\gamma_{nat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Beschrijving
1	0,00 – 0,20	17	875	581	15,8	Zand
2	0,20 – 1,22	100	5875	3420	17,2	Zand
3	1,22 – 2,24	100	6461	3420	18,9	Zand
4A	2,24 – 3,26	34	2220	1163	19,1	Zand
4B		66	2330	2257	10,3	Klei/veen
5	3,26 – 4,28	100	3472	3420	10,2	Veen
6	4,28 – 5,30	100	4483	3420	13,1	Veen/zand
7	5,30 – 6,32	100	6543	3420	19,1	Zand
8	6,32 – 7,34	100	6589	3420	19,3	Zand

Tabel 4.1 Gegevens Begemannboring A voor ProRail, door voltooide terp heen

De eerste drie waarnemingen boven de grondwaterstand komen uit op een gemiddelde natte volumegewicht van 17,9 kN/m<sup>3</sup>. De zand boormonsters zien er goed uit op de boorfoto en geven het vertrouwen dat het gewicht betrouwbaar is. Met correcties op deze waarden kan eventueel verlies van water en verdichting door verdringing verdisconteerd worden.

Aangenomen wordt dat deze effecten elkaar in evenwicht houden. Daarom wordt in de berekeningen met DSettlement  $17,9 \text{ kN/m}^3$  aangehouden.

#### 4.4.2 Veen

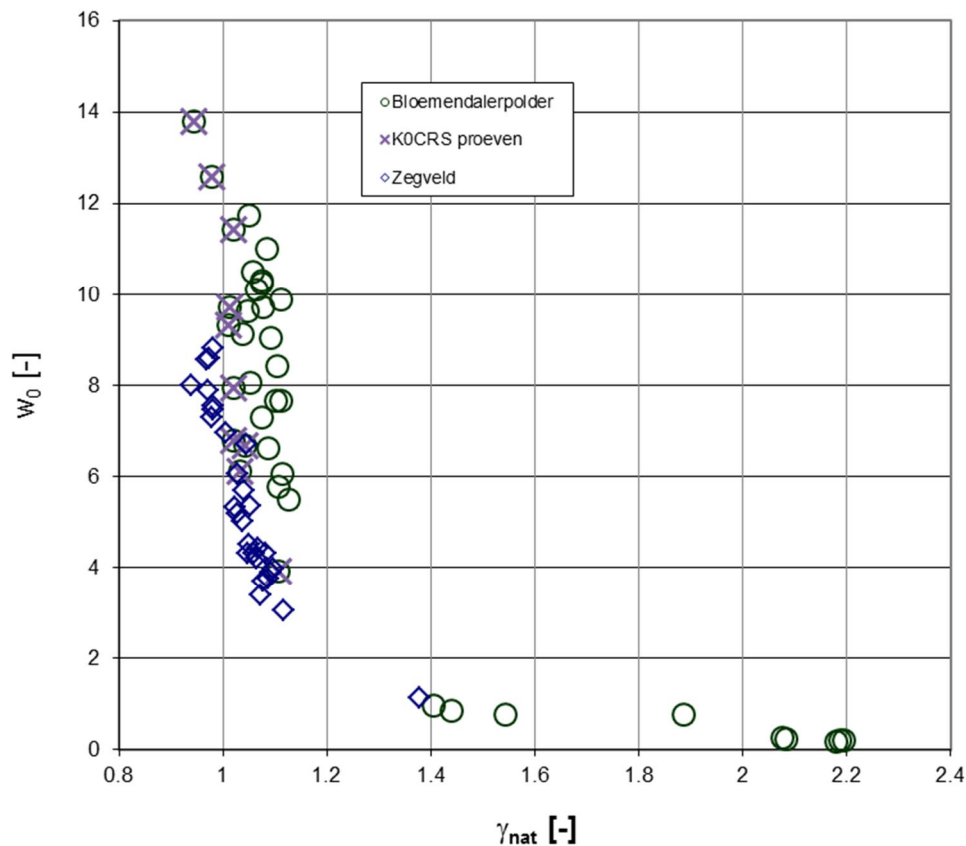
Vooral voor de bepaling van de autonome zakkingsnelheid is het volumiek gewicht van het veen van groot belang. Het resultaat van deze bepalingen zijn weergegeven in Figuur 4.6. De  $K_0$ CRS monsters zijn met (X) aangegeven in het symbool van de Bloemendalerpolder resultaten.

Uit vergelijking van deze waarden met eerder gerapporteerde resultaten [ADC, 2014] valt op de volumieke massa's vrij hoog zijn. In Tabel 4.2 zijn de resultaten uit dit onderzoek weergegeven. Dit betreffen resultaten uit een Begemannboring, gestoken vanaf ongestoord maaiveld.

Boring D Bus nr	Diepte *) [m-MV]	Lengte monster [cm]	Gewicht [gram]	Volume monster [cm <sup>3</sup> ]	Verzadigd Vol.gewicht $\gamma_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Beschrijving
10	0,00 – 1,02	100	3732	3420	10,91	Klei/veen
11	1,02 – 2,04	100	3412	3420	9,98	Veen
12	2,04 – 3,06	100	3320	3420	9,71	Veen
13	3,06 – 4,08	100	3290	3420	9,62	Veen
14	4,08 – 5,10	100	4400	3420	12,87	Veen/zand
15	5,10 – 6,12	100	6412	3420	18,75	Zand

Tabel 4.2 Gegevens Begemannboring D [ADC, 2014] vanaf ongestoord maaiveld

Opvallend is dat de resultaten van de  $K_0$ CRS wel weer overeenkomen met de resultaten zoals in Tabel 4.2 zijn weergegeven. Ook in vergelijking met oudere metingen, gerapporteerd in Den Haan & Kruse (2007), lijkt het volumegewicht van het veen in dit project (veel) te hoog gemeten te zijn. Zie onderstaande vergelijking in Figuur 4.6 van de resultaten voor Bloemendalerpolder (waarbij de bepaling voor de  $K_0$ CRS proeven apart is weergegeven met het symbool in de groep ) met resultaten voor Zegveldpolder lang geleden.



Figuur 4.6 Watergehalte versus nat volumegewicht van Bloemendalerpolder monsters uit Begemannboringen, waarbij bepalingen voor de K<sub>0</sub>CRS proeven apart zijn aangegeven. Tevens het gevonden verloop voor polder Zegveld, circa 1988

Het verband tussen  $w_0$  en  $\gamma_{nat}$  is altijd strak, en altijd dezelfde, voor zeer uiteenlopende grondsoorten. Waarom de Bloemendalerpolder waarden zo afwijken is dus de vraag. Het lijkt alsof er een Het verschil maakt nogal uit in berekeningen van de 'autonome zakkingsnelheid' - hier wordt verderop op teruggekomen. Aanbevolen wordt nader te kijken naar de oorzaken van het verschil. Ook waarom de K<sub>0</sub>CRS proeven iets beter tevoorschijn lijken te komen in dit verband.

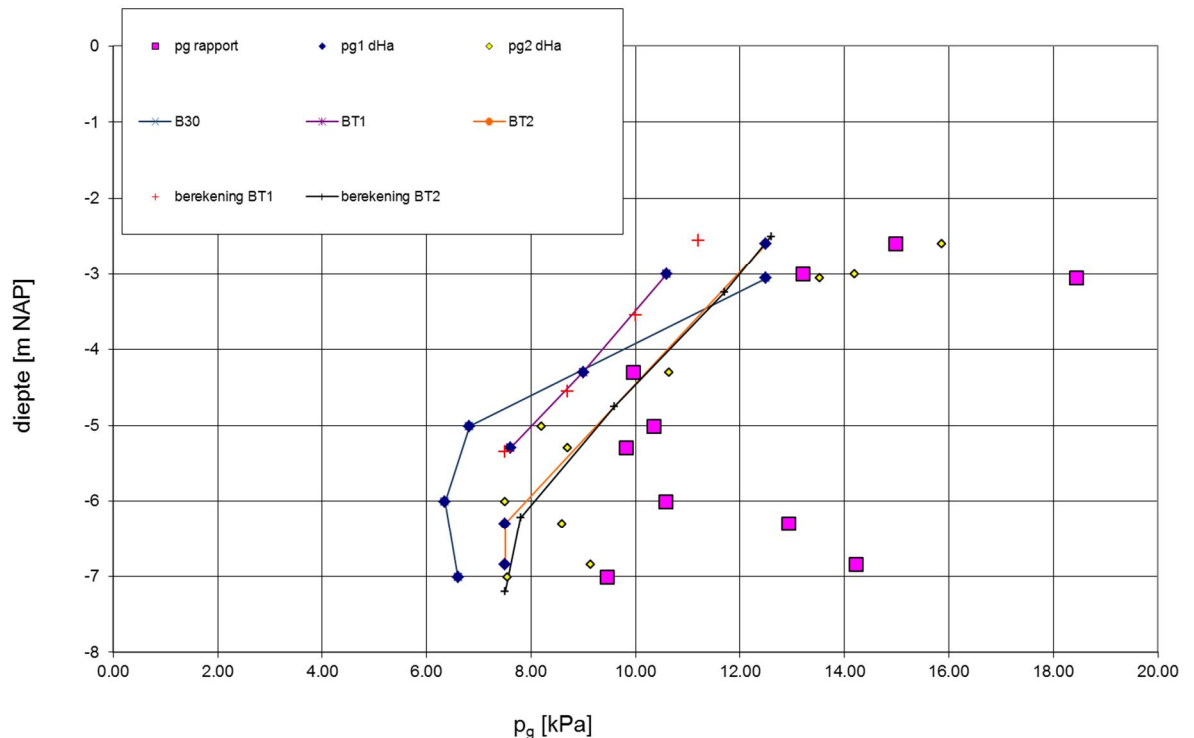
#### 4.5 Zettingsparameters

In de navolgende paragrafen worden de uit de K<sub>0</sub>CRS proeven afgeleide parameters besproken. Deze parameters zijn zowel met de klassieke uitwerking, waarbij raaklijnen aan verschillende onderdelen van de  $\varepsilon$ -p of  $\varepsilon$ -t curve gelegd worden, als de invers gefitte methode (zie bijlage B), waarbij de complete proef wordt nagerekend met ingevoerde parameters die gedurende het fitproces dusdanig aangepast worden dat de meest optimale fit wordt verkregen.

Daarnaast wordt ingegaan op de bepaling van de grensspanning,  $p_g$  en specifiek de verschillende bepalingswijzen van  $p_{g1}$  en  $p_{g2}$ , waarvan de achtergrond wordt toegelicht in Bijlage A. Hierbij wordt opgemerkt dat  $p_{g1}$  in feite niet een grensspanning is, maar een van de echte grensspanning  $p_{g2}$  afgeleide referentieparameter. Immers, de directe, voorbelaste rek wordt hierbij verwaarloosd. Echter, omdat deze parameter in eerdere publicaties als alternatieve grensspanning is gedefinieerd (o.a. CUR aanbeveling 101 en D-Settlement Manual), wordt dit symbool hier aangehouden.

#### 4.5.1 Grensspanning

In Figuur 4.7 is het verloop van de grensspanning tegen de diepte weergegeven.



Figuur 4.7 Grensspanning versus diepte  $K_0$ CRS proeven

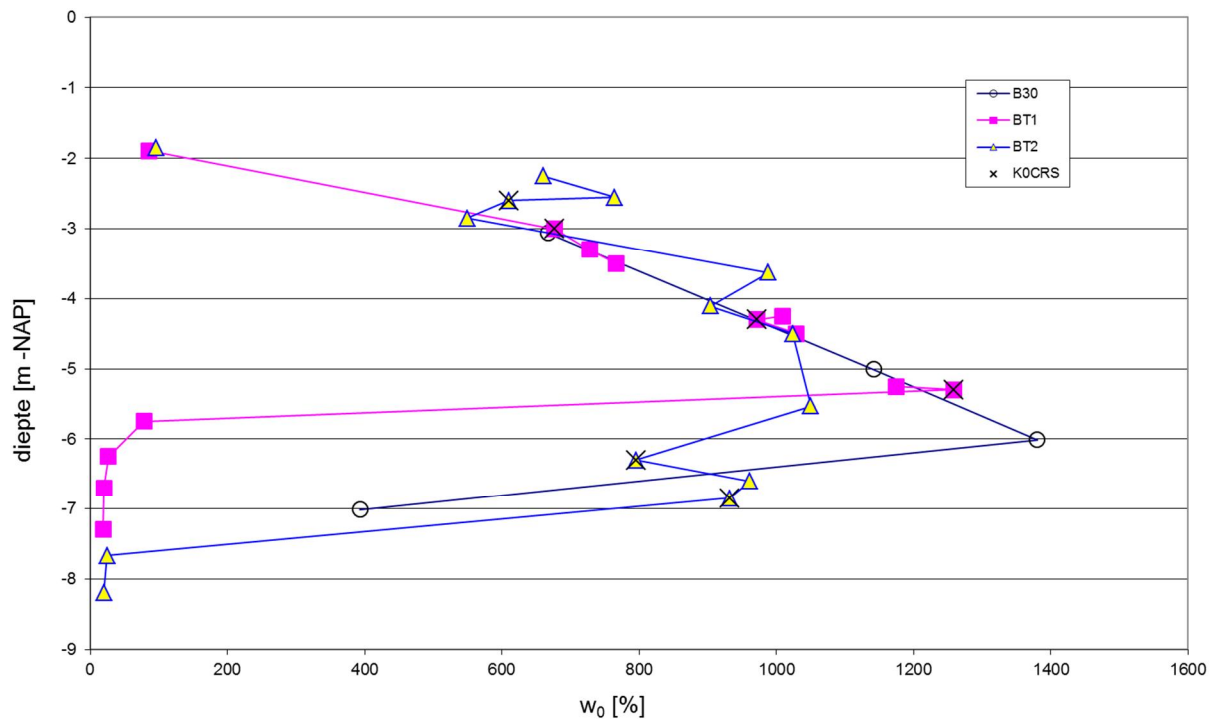
In Figuur 4.7 is tevens aangegeven welke waarden van  $p_{g1}$  zijn genomen in de berekening van terp T1 (verder niet gerapporteerd) en terp T2. Terp T2 heeft betrekkelijk hoge waarden van  $p_g$ . Opvallend is de afnemende grensspanning met de diepte in vergelijking met het toenemende watergehalte (zie Figuur 4.9).

In bijlage A wordt ingegaan op het verschil tussen  $p_{g1}$  en  $p_{g2}$ . De in deze appendix opgenomen figuur is hieronder weergegeven (Figuur 4.8). In het kort komt het er op neer dat bij gebruik van  $p_{g2}$  (die gebaseerd is op de isotachen met helling b-a en in DSettlement en Plaxis gebruikt is), blijkt dat bij het invers doorrekenen van de  $K_0$ -CRS proeven een aantal zaken naar boven kwam die het fitproces compliceerden. Eén is bijvoorbeeld dat als je een andere waarde voor a kiest bij het invers fitten, de grensspanning verschuift.  $p_{g1}$  is gebaseerd op de isotachen met helling b en heeft probleem dit niet. Bij het invers fitten is dus de referentieparameter  $p_{g1}$  gebruikt.

De nieuwe interpretatie met invers fitten leidt tot significant lagere waarden van de grensspanning dan volgens de gerapporteerde standaarduitwerking. In de meeste inverse fits is  $\sigma'_{v0} = 1$  kPa genomen als startwaarde van de proef. Daarmee en met de gevonden waarde van a is  $p_{g2}$  berekend. Deze is ook in het figuur opgenomen.

De verhouding  $p_{g2}/p_{g1}$  schommelt rond de 1.2 voor de hele proevenserie. Zou nu  $\sigma'_{v0}$  hoger worden genomen dan 1 kPa, meer in overeenstemming met de terreinspanning, dan wordt  $p_{g2}$  lager. Bij het fitten van de zakkingsmeting van Terp 2 met DSettlement wordt  $p_{g1}$  eerst op grond van de waarden van a, b en de echte in-situ  $\sigma'_{v0}$  omgezet in  $p_{g2}$ . Dus met een factor minder dan 1.2. De verhouding tussen  $p_{g2}$  en  $p_{g1}$  is als volgt:





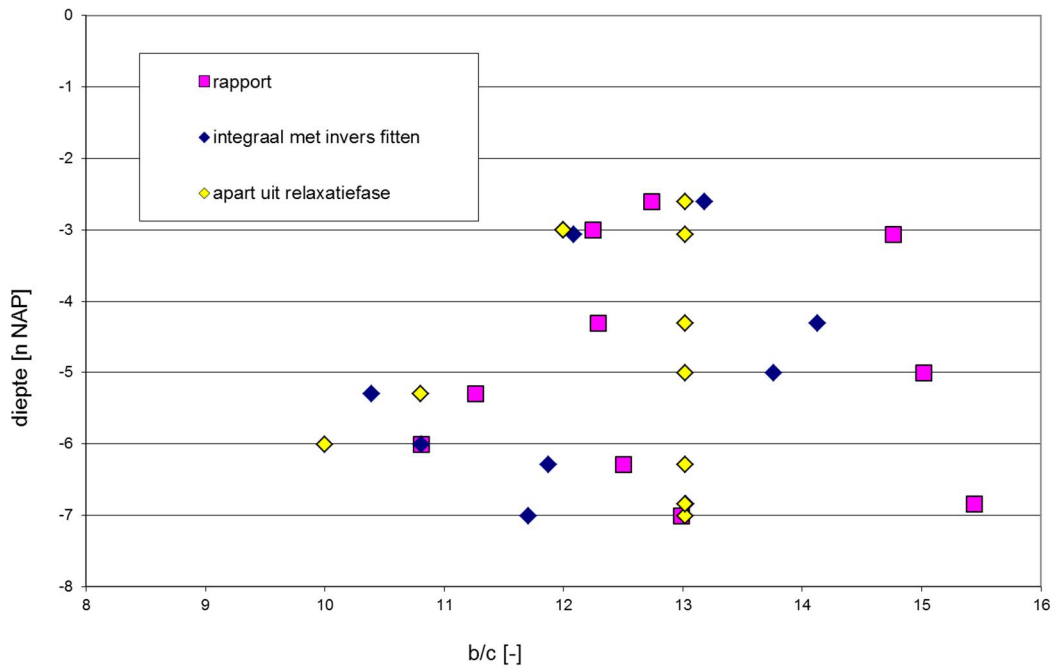
Figuur 4.9 Watergehalte versus diepte, Begemannboringen

#### 4.5.2 Isotachen abc parameters

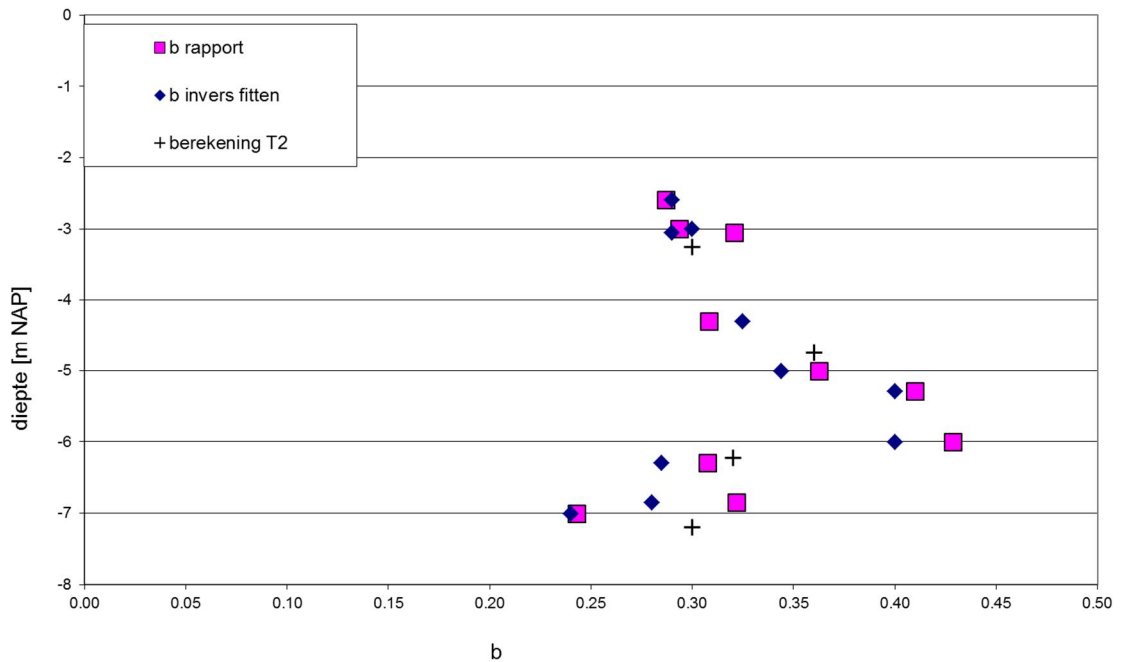
In Figuur 4.10 is het verloop van  $b/c$  over de diepte weergegeven. Merkwaardig is de constante waarde van deze verhouding in het geval van de inverse fitmethode. De enkele lagere waarden hangen samen met hoog watergehalte, maar niet op consistente wijze. Voor de berekening wordt  $b/c = 13.0$  genomen over de hele diepte.

Parameter  $b$  neemt toe met de diepte, zie Figuur 4.11, maar bij de referentielocatie is het watergehalte op grotere diepte extreem hoog. Omdat deze als niet representatief worden beschouwd, worden de zeer hoge waarden van  $b$  op grotere diepte niet overgenomen.





Figuur 4.10 Factor  $b/c$  versus diepte ( $K_0$ CRS proeven)



Figuur 4.11 Parameter  $b$  versus diepte ( $K_0$ CRS proeven)

#### 4.6 Autonome zakkingsnelheid

Cruciaal bij het isotachenmodel is een juiste keuze van de initiële "rate". Deze wordt in het model bepaald door  $p_{g2}$ ,  $\tau_0$  of OCR. Hier wordt  $p_{g2}$  gebruikt, berekend uit  $p_{g1}$ ,  $a$ ,  $b$  en  $\sigma'_{v0}$ .

Het is nuttig om vooraf aan de DSettlement berekening, een 1-D lagenmodel te maken waarin  $\sigma'_{v0}$  wordt berekend zonder bovenbelasting, en daaruit de in-situ initiële "rate" te bepalen, en dan door sommatie de zakkingsnelheid van het maaiveld. Deze moet dan overeenkomen met realistische waarden uit metingen of anders 'expert' schattingen.

Het lagenmodel voor terp T2 is in Bijlage D weergegeven.

De terreinspanning  $\sigma'_{v0}$  wordt in de eerste kolommen berekend uit de volumegewichten en de stijghoogten. Daarna wordt  $p_{g1}$  ingevoerd in overeenstemming met de invers gefitte  $K_0$ CRS proeven. Voor de DSettlement sommen wordt dan  $p_{g2}$  berekend uit  $p_{g1}$ ,  $a$  (waarvoor wordt aangehouden  $a = c$ , en  $a = b/7$ ),  $b$  en  $\sigma'_{v0}$ . De 'initial rate' volgt uit:

$$\dot{\varepsilon} = c/\tau \quad (1.0)$$

Met:

$$\tau = OCR^{b/c} \quad (1.0)$$

NB: de OCR is gebaseerd op  $P_{g2}$ .

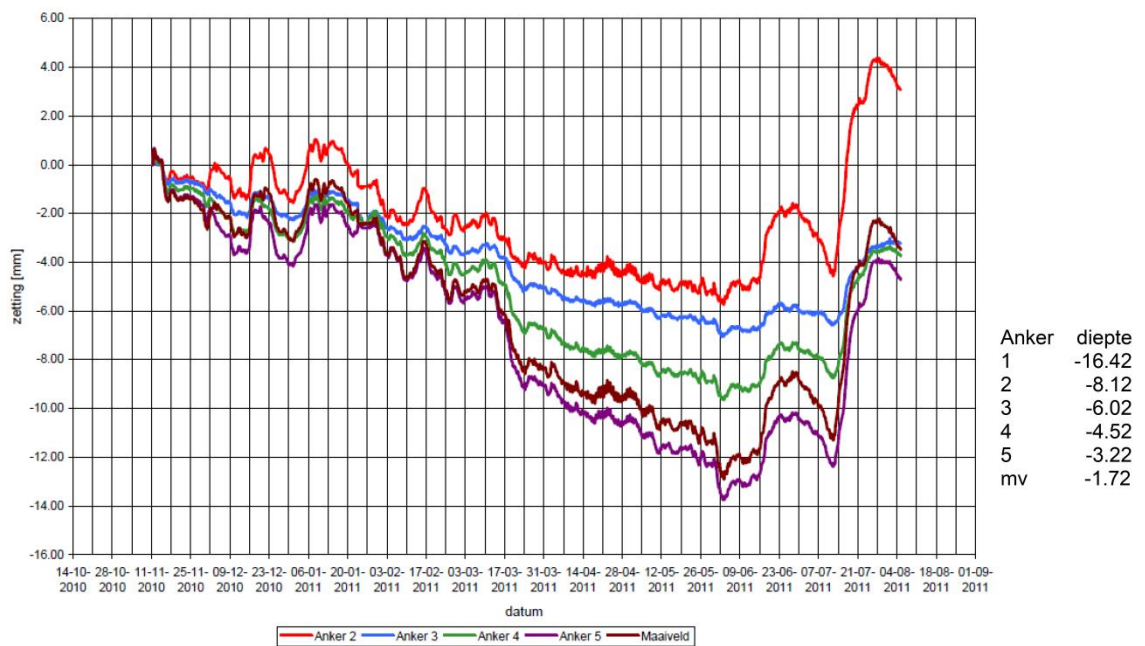
Dan volgt voor de zakkingsnelheid van het terrein een waarde van 5,5 m/jaar. Duidelijk veel te hoog. Wat wel een redelijke waarde is volgt uit:

1. Een eerdere analyse van extensometers bij de referentielocatie (Figuur 4.12) [ADC, 2014].
2. De langjarige kalibratie waterpassingen van Hansje Brinker aan 'corner reflectors' langs de A13 bij Delft (Figuur 4.14).

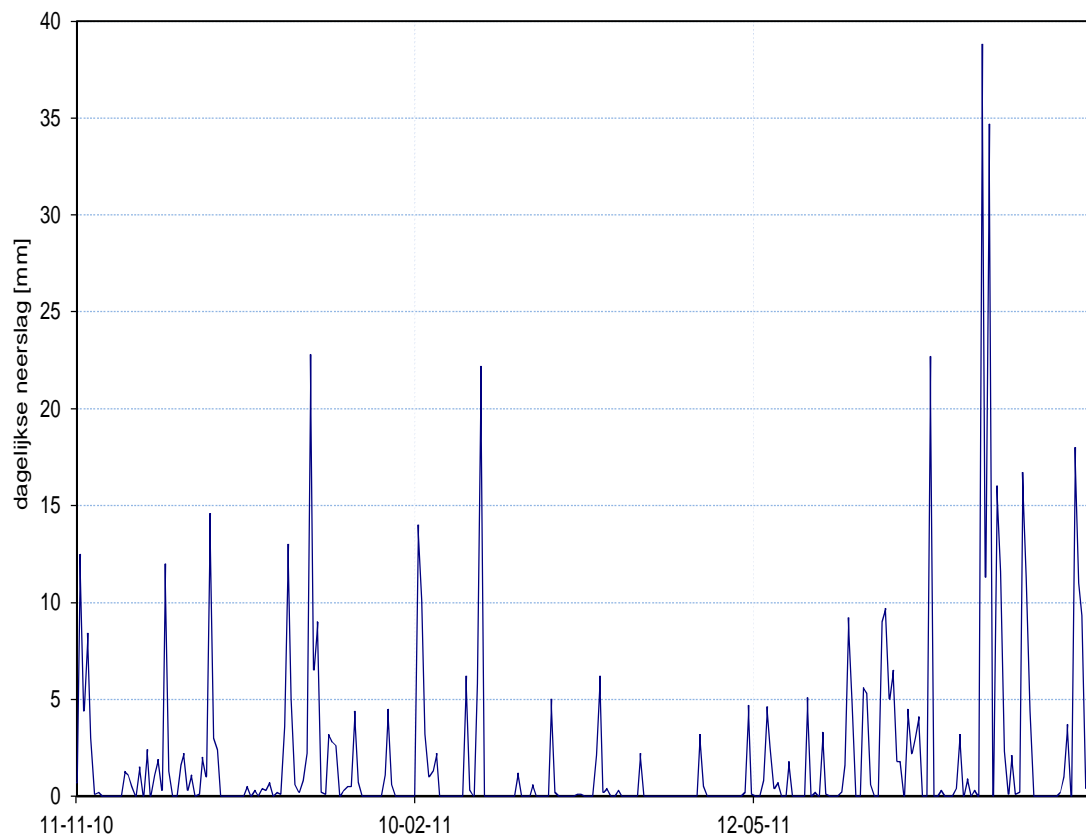
In beide metingen is een zakkingsnelheid in de orde van 12 mm per seizoen waarneembaar. Kennelijk is de hydrologie ook van grote invloed op de zakkingsnelheid en kan bij veel regenval het maaiveld zwellen. Correlatie tussen veel regenval en zwel is in [ADC, 2014] aangetoond (Figuur 4.12 en Figuur 4.13)

Er wordt hier gemakshalve uitgegaan van een te evenaren zakkingsnelheid van circa 12 mm/jaar. Dat wordt bereikt door de referentiespanning  $p_{g1}$  te verhogen met een factor 1.6. Dit heeft een factor 1.3 tot 1.4 in de grensspanning  $p_{g2}$  tot gevolg. Dit toont de enorme gevoeligheid aan voor  $p_g$  in isotachenmodellen.

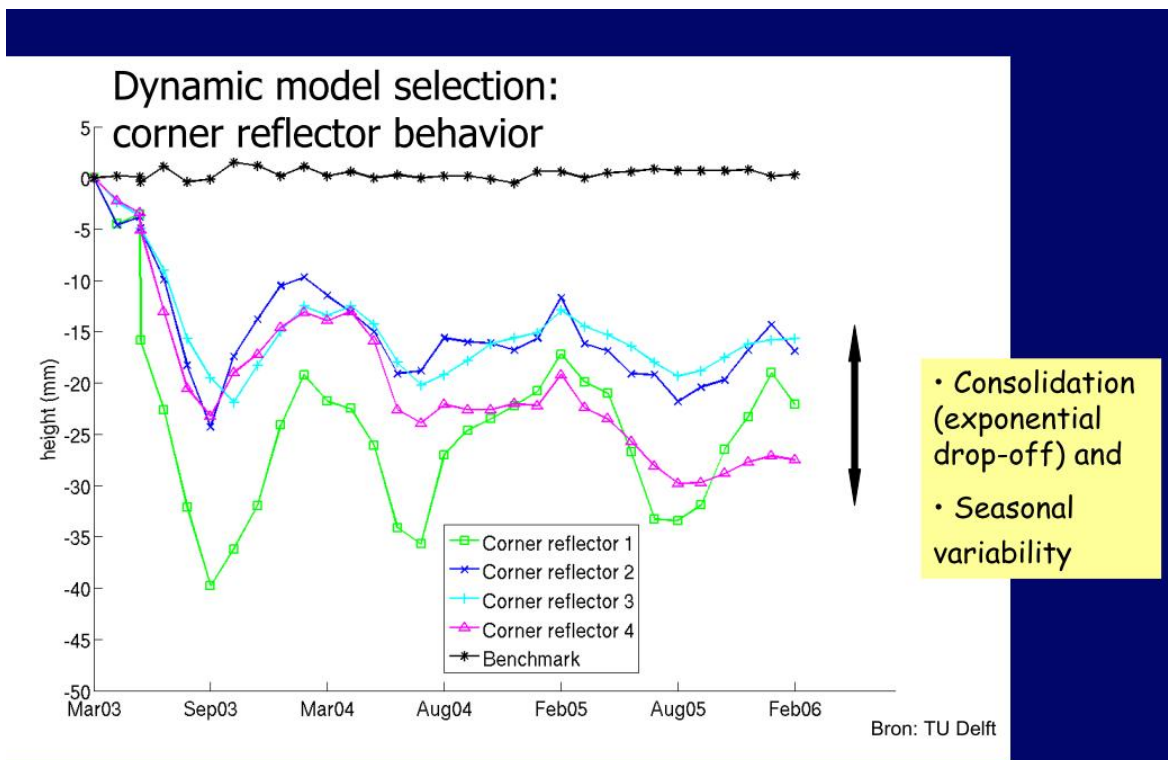
Het verloop over de tijd van de zakkingsnelheid die uit de extensometer en corner reflector bewegingen volgt, zou bij voorkeur met het isotachenmodel gefit moeten worden. De bodembeweging wordt mogelijk mede bepaald door stijghoogteveranderingen en dus zijn betrouwbare waterspanningsmetingen nodig. Jammer dus dat de vibrating wire metingen bij de referentielocatie onbetrouwbaar lijken (paragraaf 4.3.2). Daarnaast echter spelen temperatuur en verwerking een rol in de bodembeweging, en een eenduidige procedure om  $p_g$  aan te passen aan de hand van de autonome zakkings(snelheid) is voorlopig niet te geven.



Figuur 4.12 Eerste jaar waarnemingen aan extensometers bij de (onbelaste) referentielocatie



Figuur 4.13 Regenval in dezelfde periode als in Figuur 4.12 is weergegeven



Figuur 4.14 Langjarige waterpassingen aan 'corner reflectors' te Delft door Hansje Brinker b.v.

#### 4.6.1 Gevoeligheid autonome zakkingsnelheid voor variatie van parameters

Tabel D.1 in Bijlage D die als basis dient voor de bepaling van de autonome zakkingsnelheid, leent zich ervoor om de parameter-gevoeligheid te onderzoeken. De gevoeligheid is voor de volgende parameters bepaald:  $\gamma_{\text{nat,veen}}$ ,  $p_{g1}$ ,  $b$ ,  $b/c$ , grondwaterstand, stijghoogte in zand (zie Tabel 4.3). De invloed van variatie in parameter  $a$  is onderzocht door twee gangbare afleidingsmethodes te gebruiken, namelijk  $a=c$  en  $a=b/7$  (zie ...).

Variatie		mm/j	Factor verschil
$\gamma$ veen (kN/m <sup>3</sup> )	<b>10</b>	<b>5561</b>	<b>1</b>
	10.5	227640	40.9
	9.9	2300	0.41
	9.8	896	0.16
$p_{g1}$ (factor)	<b>1</b>	<b>5561</b>	<b>1</b>
	1.5	28.6	5.14E-03
	1.6	12.4	2.22E-03
	2.0	0.68	1.22E-04
gws (m NAP)	<b>-1.90</b>	<b>5561</b>	<b>1</b>
	-2.10	7824	1.41
stijghoogte zand (m NAP)	<b>-2.10</b>	<b>5561</b>	<b>1</b>
	-1.90	106	0.019
	-2.30	117878	21.2
b (factor)	<b>1.00</b>	<b>5561</b>	<b>1</b>
	1.10	6118	1.10
	0.90	5005	0.90
b/c (factor)	<b>1.00</b>	<b>5561</b>	<b>1</b>
	1.20	3591	0.65
	0.80	9137	1.64

Tabel 4.3 Effect van variatie van parameters in onbelast lagenmodel op autonome zakkingsnelheid

Het volumegewicht van het veen is tegen de verwachting in, extreem van invloed op de zakkingsnelheid. Met het toenemen daarvan neemt de effectieve spanning sterk toe omdat het zo dicht bij nul zit. Dan verplaatst de initiële toestand naar een hogere isotach.

De waarde van de grensspanning is ook van groot belang. De fits aan de gemeten zakkings van terp T2 wijzen erop dat de grensspanning hoger moet worden gekozen dan volgt uit de inverse  $K_0$ -CRS fitmethode. Als de variaties in bovenstaande tabel worden uitgevoerd na eerst  $p_g$  met een factor (bijv. 1.6) te hebben opgehoogd, blijven de *relatieve* effecten van de variatie van de andere parameters gelijk: het factor verschil blijft gelijk. Uiteraard nemen de absolute waarden van de zakkingsnelheid wel af (met factor  $2.22^{e-3}$  ofwel 1:450)

De hydrologische toestand, uitgedrukt in grondwaterstand en stijghoogte onderliggend zand, heeft ook een sterke invloed op de autonome zakkingsnelheid. Uiteraard via de invloed op de effectieve spanning. Een niet lineair verloop van de stijghoogte in het veen zal ook van invloed zijn, maar dat is niet onderzocht.

Variatie van b of b/c is van minder invloed. De variatie van b werkt nagenoeg lineair ("1: 1") door in de zakkingsnelheid.

Geconcludeerd kan worden dat een goede modellering van de autonome zakkingsnelheid niet eenvoudig is. Naast het isotachenmodel en goede laboratoriumproeven is precieze kennis van de hydrologische toestand, temperatuur en verwerking nodig. Uiteraard aangevuld met goede modellen voor temperatuurinvloed en verwerking. Het kan nodig blijken om in de isotachenmodellen  $p_g$  temperatuur-afhankelijk te maken.

## 5 Interpretatie extensometers en D-Settlement berekeningen

### 5.1 VWP Extensometers

Gemeten wordt de verschuiving van de ankerstaaf ten opzichte van maaiveld. Aan de bovenkant van de staaf wordt de stift van een trillende snaaropnemer bevestigd. De opnemer zit vast aan een randflens binnen de instrumenthouder aan maaiveld.

De metingen zijn dus relatieve bewegingen, tussen anker en instrumenthouder. Het diepste anker staat in het diepe zand, waarvan wordt aangenomen dat deze een vaste positie heeft. Deze geeft dus de maaiveldvervorming. De absolute beweging van de andere ankers wordt daaruit afgeleid.

De metingen, dus de relatieve bewegingen per anker, worden aangegeven met R1, R2, R3, R4 en R5 (positief voor compressie, d.w.z. een kleinere afstand tot instrumenthouder c.q. maaiveld). Alleen de absolute bewegingen A1, A2, A3, A4 en A5 zijn gegeven in de beschikbare meetfiles.

$A1 = R1 =$  maaiveldzakking (anker 1 in diepe zand)

$A2 = R1 - R2$

$A3 = R1 - R3$

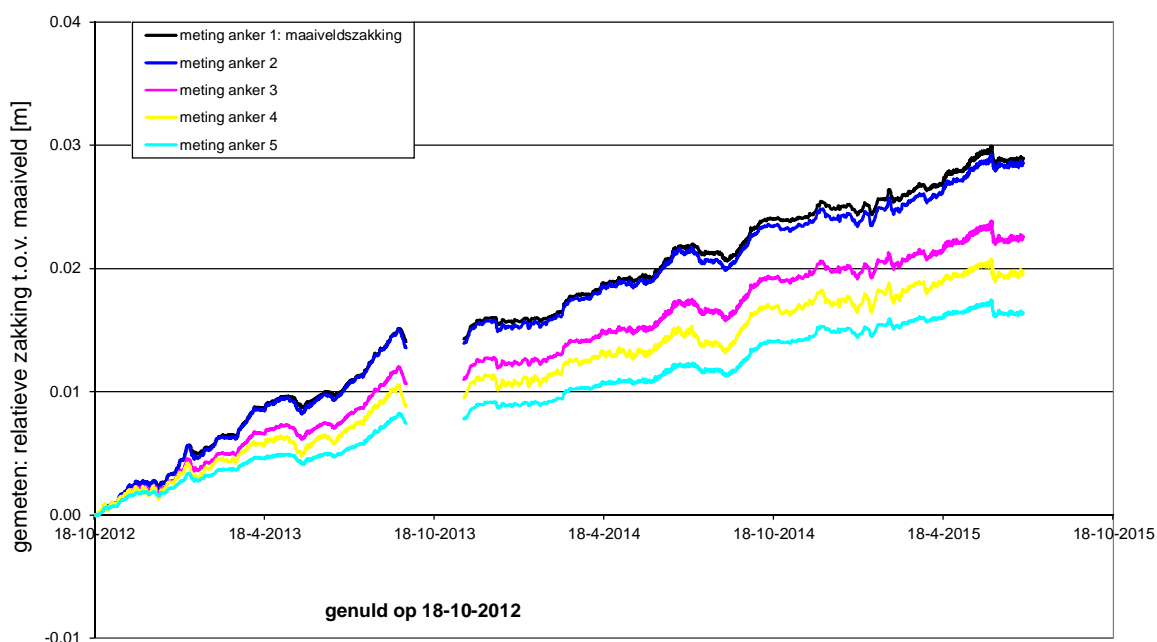
$A4 = R1 - R4$

$A5 = R1 - R5$

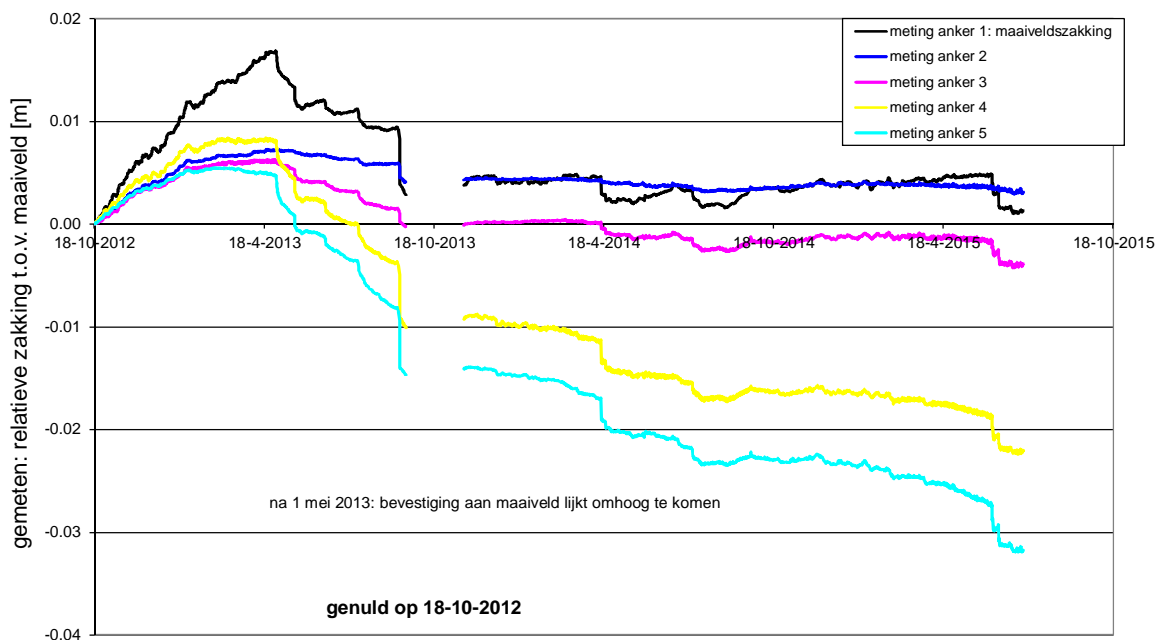
De relatieve metingen worden teruggerekend via:

$Rx = A1 - Ax$

In Figuur 5.1 en Figuur 5.2 worden de relatieve metingen getoond voor T2-7 en T2-8. Hierbij is genuld op de vrij willekeurige datum 18-10-2012, die voldoende ver na belasten en ontlasten ligt om de verschillende ankerbewegingen op centimeterschaal te kunnen vergelijken.

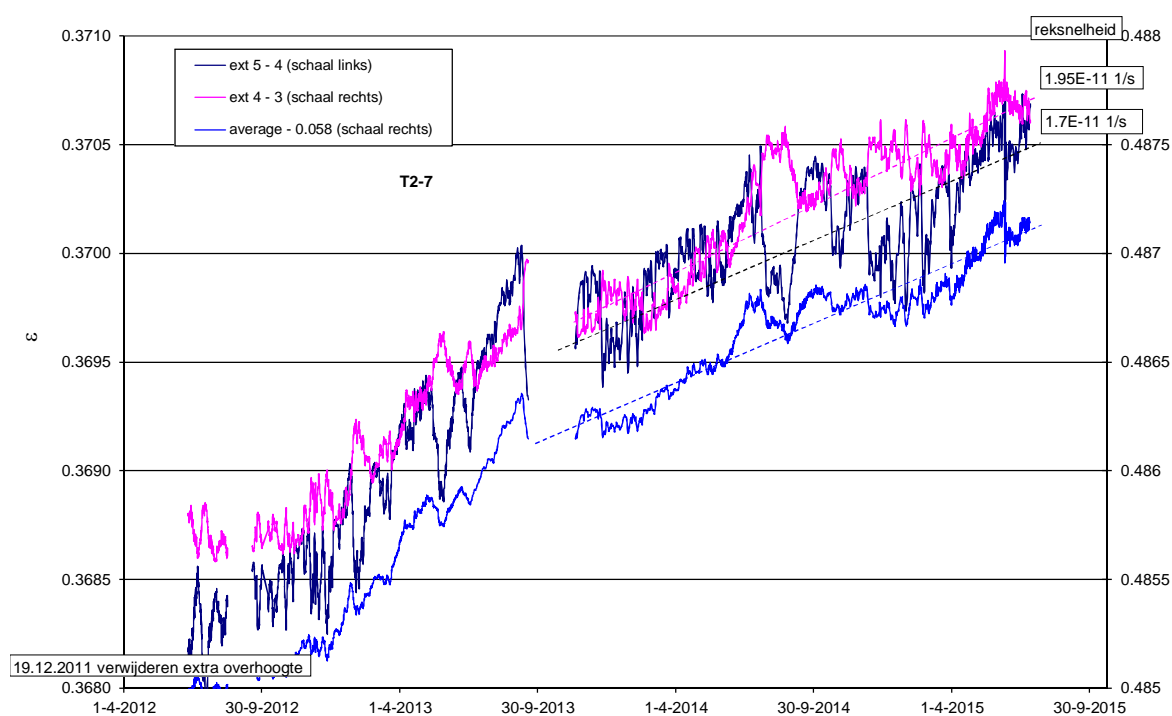


Figuur 5.1 Afname afstand anker-instrumenthouder bij Extensometer T2-7 (ontlaste deel van Terp 2) na 18-10-2012

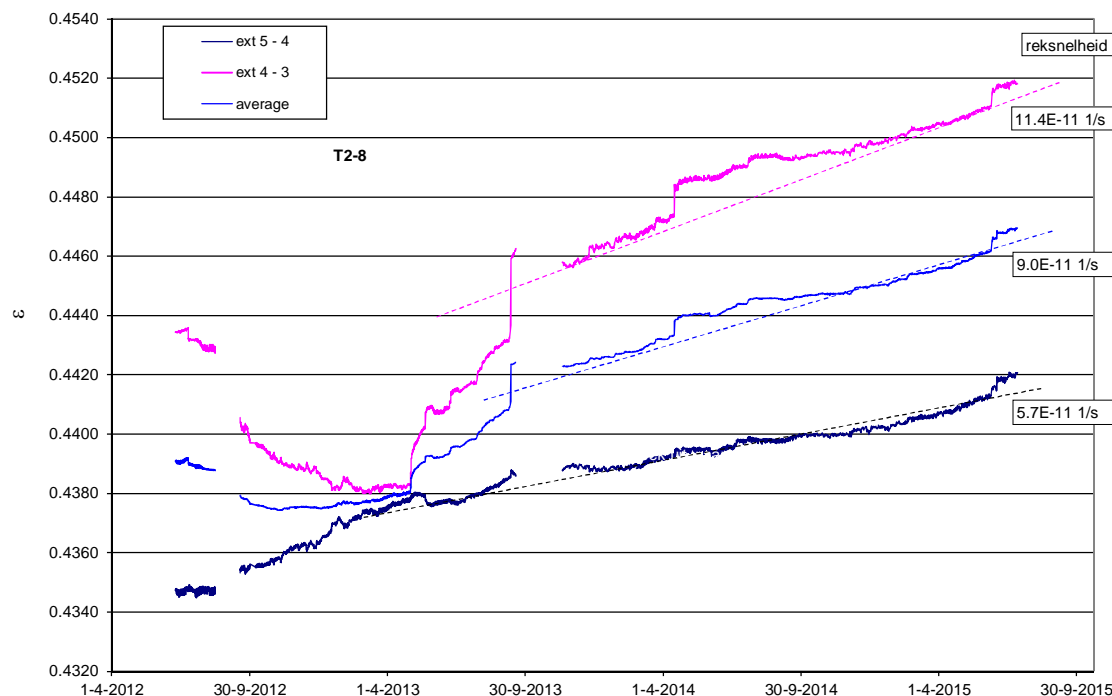


Figuur 5.2 Afname afstand anker -instrumenthouder bij Extensometer T2-8 (doorbelaste deel van Terp 2) na 18-10-2012

In Figuur 5.3 en Figuur 5.4 worden de relatieve rekken tussen de ankers op beide locaties weergegeven.



Figuur 5.3 Rek in het veen tussen ankers 5 en 4 (bovenste stel ankers), ankers 4 en 3, en 5 en 3, T2-7 (Terp 2 - ontlaste deel)



Figuur 5.4 Rek in het veen tussen ankers 5 en 4 (bovenste stel ankers), ankers 4 en 3, en 5 en 3, T2-8 (Terp 2 - doorbelaste deel)

Zoals verwacht mag worden neemt bij T2-7 (ontlaste deel van Terp 2) de afstand tussen anker en instrumenthouder steeds af, en wel bij diepere ankers (anker 5 is hoogste anker, anker 1 zit in het diepe zand) meer. Er lijkt bovendien sprake te zijn van een geringe afname van de zettingsnelheid bij alle ankers.



Bij VWP T2-8 gaat het mis. Anker 1, die de maaiveldzakking weergeeft, is nog tot 01-05-2012 redelijk geloofwaardig, maar de andere ankers geven dan al een afname van vervormingssnelheid weer. Na 01-05-2012 laten alle ankers een sterke omkering van trend zien, waarbij de afstand van de ankers tot de instrumenthouder op maaiveld toeneemt. Dit is ongeloofwaardig. De meest waarschijnlijke oorzaak is dat de instrumenthouder zelf beweegt, opwaarts. Als de beweging voor alle staven gelijk zou zijn, zou de verandering in de onderlinge afstand tussen de ankers nog worden gebruikt om de rekken en reksnelheden te bepalen. Dat blijkt echter niet het geval, zie Figuur 5.4. Ook daar treedt op 01-05-2012 een trendverandering in.

Extensometer T2-8 moet dus uitgesloten worden van bepaling van rekken en reksnelheden na 01-05-2012.

Extensometer T2-7 lijkt wel betrouwbaar te zijn, al is daar geen zekerheid dat ankerslip, ankerkruip of andere zaken helemaal niet zijn opgetreden.

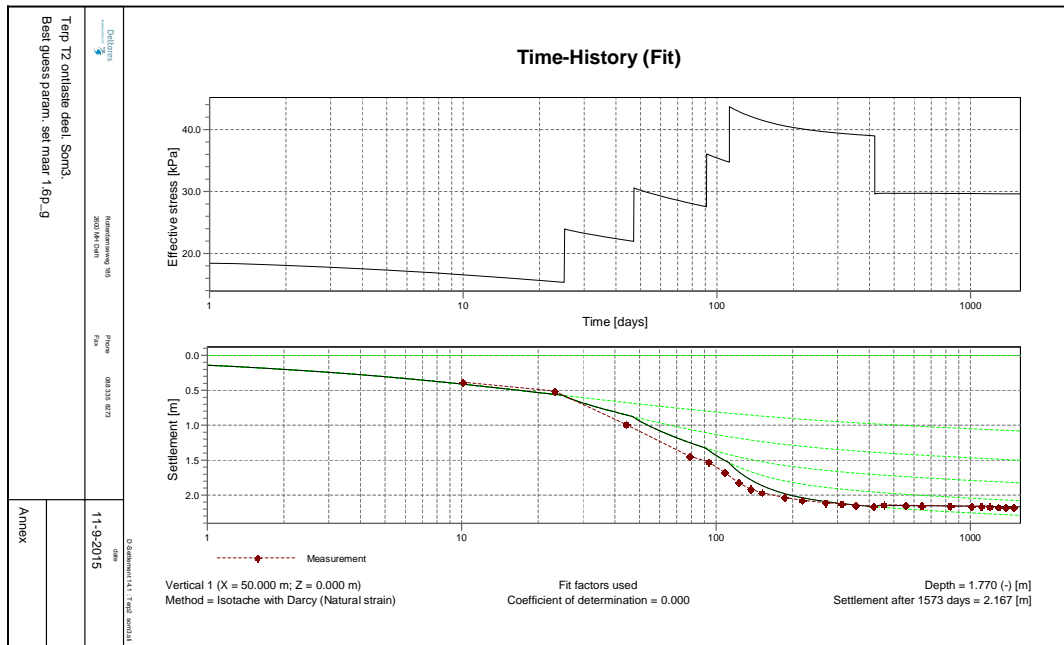
Mogelijke oorzaken voor de geconstateerde afwijkingen zijn:

- Ankerslip: De mate van hechting van de ankers in het veen.
- Ankerkruip onder het eigen gewicht, ook bij goede hechting.
- De bevestiging van de meetopnemers in de instrumenthouder.
- De onbeweeglijkheid van de instrumenthouder, over langere tijd.
- De betrouwbaarheid van de opnemers over langere tijd.
- De glasvezelstaaf die de beweging van de grond naar boven overbrengt, kan buigen, wrijving ondervinden en gevoelig zijn voor temperatuursverandering en vocht.

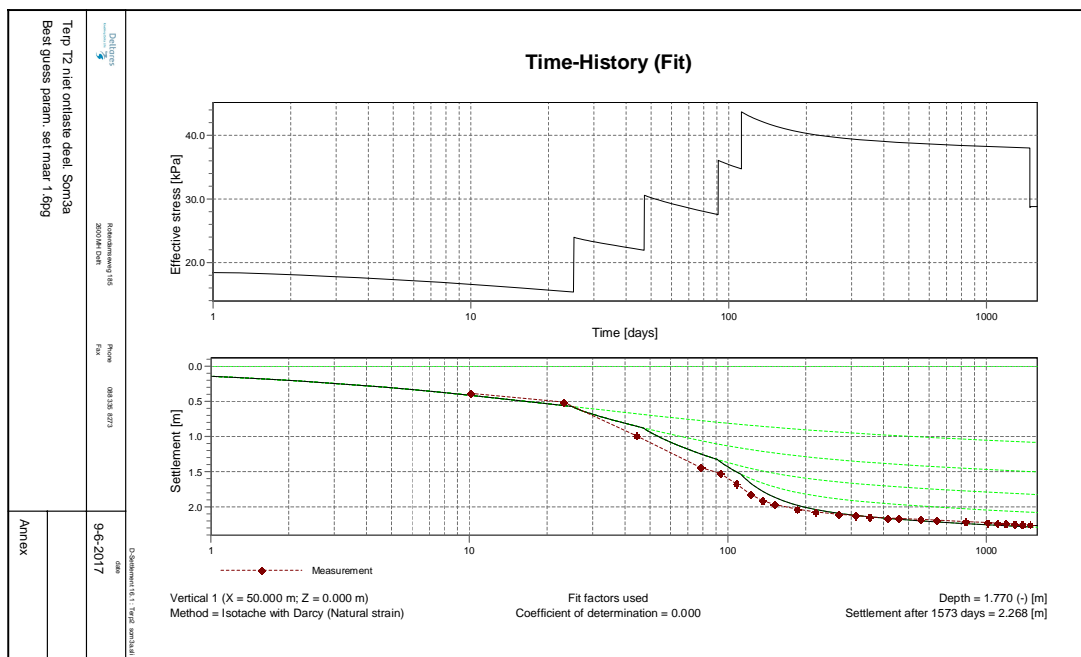
## 5.2 DSettlement berekeningen

Met behulp van de in hoofdstuk 1 gepresenteerde randvoorwaarden en parameters zijn postdicties met het isotachenmodel in DSettlement uitgevoerd. De resultaten voor terp T2 zijn in onderstaande figuren weergegeven.

Figuur 5.5 is van het linkerdeel van de terp waar een halve meter zand werd verwijderd, Figuur 5.6 van het rechterdeel dat niet werd ontlast. Hierbij moet worden opgemerkt dat aan het eind van de simulatie zoals getoond in Figuur 5.6 het lijkt alsof hier ontlast wordt. Dit is niet het geval en moet worden toegeschreven als een bug in het plotgedeelte van het programma.



Figuur 5.5 Postdictie Terp 2 ontlaste deel (Som 3, locatie 7)



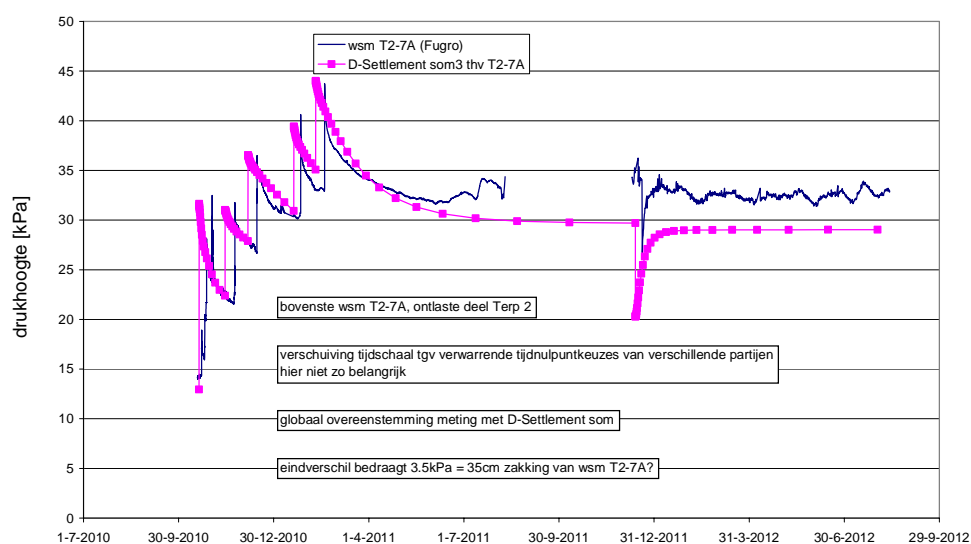
Figuur 5.6 Postdictie Terp 2 doorbelaste deel (Som 3a, locatie 8)

Van de parameters die uit de inverse fits van de  $K_0$ CRS proeven volgden, is alleen aan  $p_g$  gesleuteld. Deze is over de hele diepte met een factor 1,6 opgehoogd.

De factor 1,6 is gelijk aan de factor die volgde uit de analyse van de autonome zakkingsnelheid. Let wel, de factor wordt op  $p_{g1}$  losgelaten en werkt door in  $p_{g2}$ . De laatste is niet lineair afhankelijk van de eerste.

Voor de doorlatendheid is gekozen  $C_k = 0,25$ ,  $k_0 = 3 \times 10^{-7}$  m/s.  $C_k$  geeft de afhankelijkheid van de doorlatendheid als functie van het poriegetal  $e$  weer,  $k_0$  is de (geëxtrapoleerde) doorlatendheid bij  $e = 0$ .

Hiermee werd een goede overeenstemming gevonden met de dissipatiesnelheid op diverse diepten, gemeten met Fugro waterspanningsmeters (Figuur 5.7).



Figuur 5.7 Verloop waterspanning bij Fugro waterspanningsmeter T2-7A, en het met DSettlement berekende verloop op dezelfde diepte

Opvallend is dat zowel de voortgezette belasting van het rechterdeel van de terp (Terp 2), als het ontlaste linkerdeel, goed worden gemodelleerd. Met andere woorden, het bestaande isotachenmodel is in staat beide situaties met dezelfde parameters te modelleren.

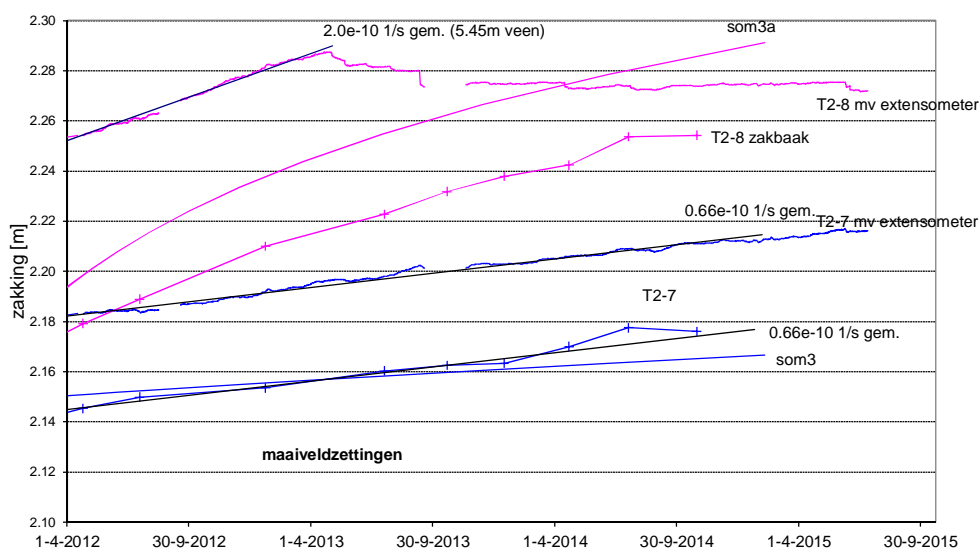
Voor alle duidelijkheid worden de gebruikte parameters hieronder opgesomd:

	Diepte (m-NAP)	a	b	c	$p_g$	OCR
klei	1.77-2.50	1.00E-02	2.00E-01	1.00E-02		1.89
veen1	2.50-4.00	2.30E-01	3.00E-01	2.30E-02	21	
veen2	4.00-5.50	2.77E-02	3.60E-01	2.77E-01	16.7	
veen3	5.50-6.95	2.46E-02	3.20E-01	2.46E-02	13.2	
veen4	6.95-7.45	2.30E-02	3.00E-01	2.30E-02	12.6	

Tabel 5.1 Overzicht gebruikte parameters in de D-Settlement sommen

Perfect is de fit niet. Het niet ontlaste gedrag wordt iets te ongunstig gemodelleerd; het gedrag na ontlasten iets te gunstig.

Om een betere indruk te geven van de kwaliteit van de fits zijn in Figuur 5.8 uitvergrotingen van de zakkingsstaarten gegeven.



Figuur 5.8 Uitvergrotingen zakkingsstaarten

Er is gefit op de Fugro zakbaakwaarnemingen. De extensometerwaarnemingen wijken daar enigszins van af, en het diepste anker bij het doorbelaste deel (gebruikt als maaiveldswaarneming) weigert duidelijk vanaf voorjaar 2013 dienst. Er moet wel worden opgemerkt dat de zakbakens vanaf 22-07-2014 een trendbreuk te zien geven. De zakbaakwaarnemingen zijn tot 21-10-2015 doorgezet en zijn beschikbaar, maar worden hier niet weergegeven. De trendbreuk is ook zichtbaar bij bakens 7 en 8 van Terp 1, en in alle (vier) gevallen gaat het om een plotselinge vermindering van de zakkingsnelheid op dezelfde datum. De extensometer T2-7 geeft echter geen enkele trendbreuk te zien. Extensometer T2-8 is vanaf 01-05-2012 onbruikbaar. De trendbreuk wordt daarom toegeschreven aan een meetfout, en wordt hier niet verder overgenomen en onderzocht. De gebruikte parameterset is op rigide wijze samengesteld. Alleen op de grensspanning blijkt een (vrij forse) correctiefactor nodig te zijn (1.3 à 1.4 over de hele diepte van het veen).

Daarmee wordt dan zowel de doorgezetten belasting als het gedrag na ontlasten goed gefit. De grootte van de ontlasting in termen van effectieve spanning in het veen bij Terp 2 gaat van 47 kPa naar 36 kPa, dus een OCR van 1.3. Een alleszins gebruikelijke waarde in de praktijk.

Waarom de grensspanning in de inverse fits van de  $K_0$ CRS proef zóveel te laag blijkt te zijn is onduidelijk. Grimstad en Ashrafi (2014) kiezen niet voor invers fitten, maar juist voor een OCR anders dan in de oedometer gevonden om beter bij de initiële zakkingsnelheid van het terrein te passen. Zo komen zij ook tot goede fits met veldmetingen (test embankment MIT-MDPW op Boston Blue Clay). Dat betreft echter vooral de invloed van gestructureerd gedrag, die extra compressie oplevert na de grensspanning, waardoor één waarde van  $b$  niet goed mogelijk is. Dat is hier niet aan de orde.

Monsterverstoring van de Begemannmonsters door verdichting van het veen tijdens steken kan geen oorzaak zijn van de discrepantie in  $p_g$ -waarden, omdat dan naar verwachting  $p_g$  juist toe zou moeten nemen. Verkneding door te hoge dichtheid van de steunvloeistof (opknijpen) is wel denkbaar.

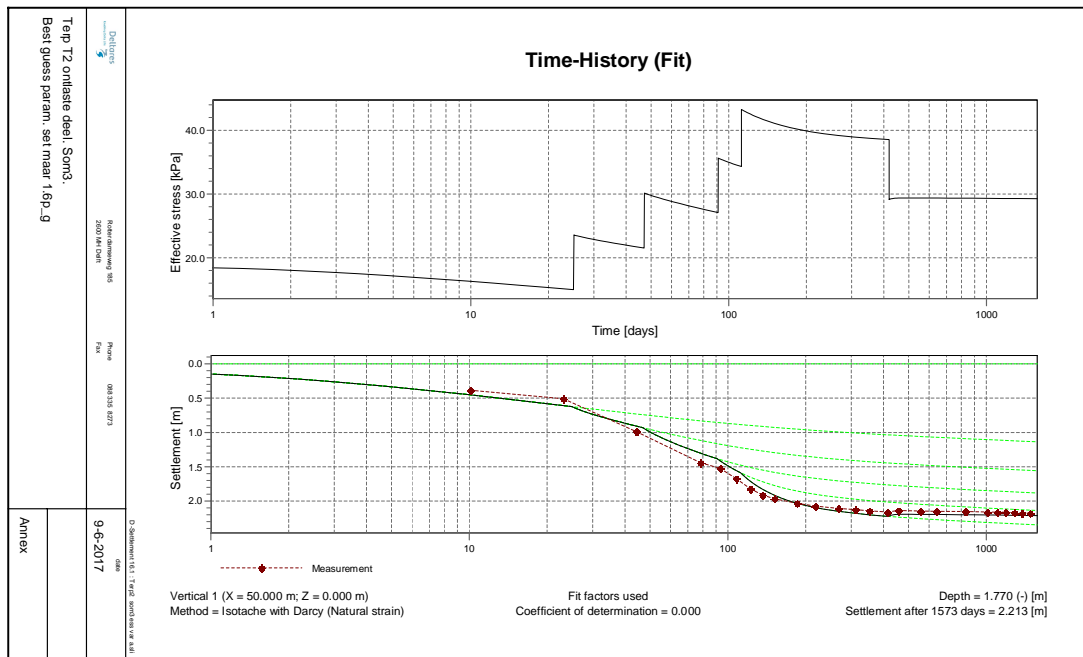
Het grote verschil in grondtemperatuur in-situ en het laboratorium is wel een factor om rekening mee te houden. Als dat inderdaad het geval is, zal het nodig kunnen zijn om voor de berekening van de autonome zakkingsnelheid deze invloed in de isotachenmodellen mee te nemen (diepte-afhankelijk).

De invloed van temperatuur op reksnelheid wordt door Fox geschreven als

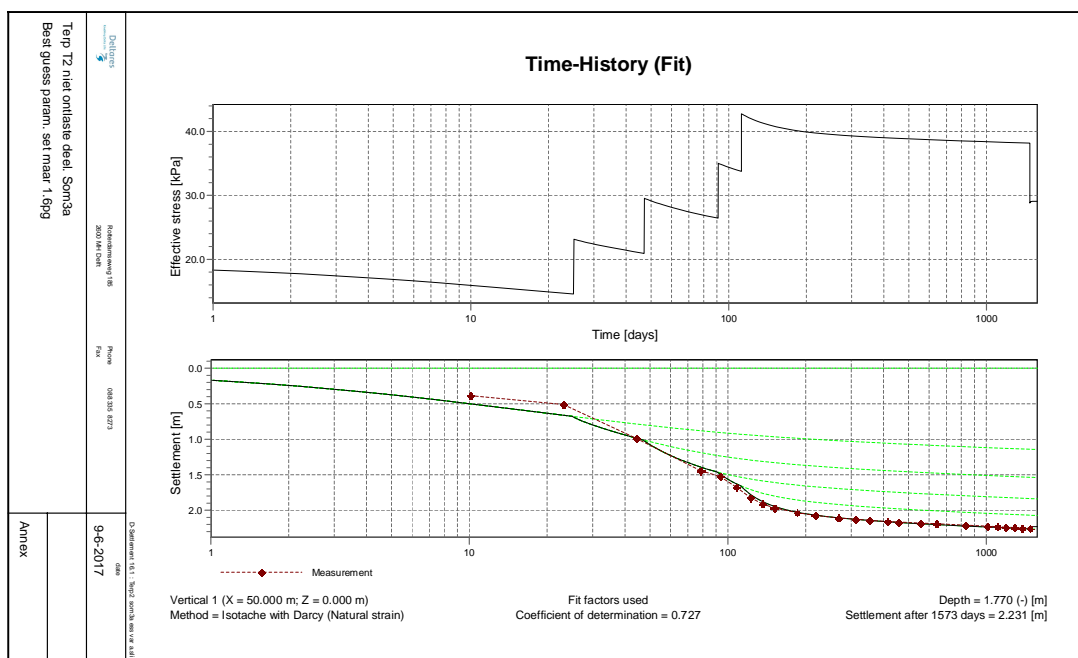
$$\dot{\varepsilon} = C \exp(C_T T) \quad (1.0)$$

Voor  $C_T$  vindt hij waarden van 0.24 - 0.26. Voor de gevonden temperatuurverschillen van 21°C (294°K, lab) en 10°C (283°K, veld) uitgaande van  $C_T = 0.26$ , levert dit een factor 17.5 lagere veld reksnelheid op. De verhoging van de referentiespanning  $pg_1$  met een factor 1,6 heeft een factor van circa 450 lagere autonome reksnelheid tot gevolg. Formule 1.3 moet echter gerelateerd worden aan  $pg_2$  en niet aan  $pg_1$ , immers  $pg_2$  is de echte grensspanning. Het verschil tussen  $pg_2$  en  $pg_1$  ligt in de orde van 1,2 tot 1,4. Met een temperatuursinvloed van circa 10% wordt 1,32 tot 1,54 van de factor 1,6 verklaard, dus de invloed van de temperatuur lijkt een groot deel van het verschil in reksnelheid te kunnen verklaren. Merk op dat de hier genoemde parameter C niet dezelfde is als de isotachen kruipparameter C.

In bovenstaande simulaties is uitgegaan van  $a = c$ . Om de invloed van deze aanname na te gaan is ook een simulatie met de aanname  $a = b/7$  uitgevoerd. Dit is in Figuur 5.9 en Figuur 5.10 weergegeven.



Figuur 5.9 Postdictie Terp 2 ontlaste deel (Som 3, locatie 7,  $a=b/7$ )



Figuur 5.10 Postdictie Terp 2 niet ontlaste deel (Som 3a, locatie 7,  $a=b/7$ )

De verschillen met de fits op basis van  $a=c$  zijn niet groot. Ook deze berekeningen passen vrij goed bij de zakbaak fits. De volgende verschillen kunnen worden opgemerkt:

- Het begin deel van de zakkings wordt beter gevolgd.
- De eindzettingen met  $a=c$  wijken nauwelijks af van de zakbaakfits. De verschillen zijn nu enkele centimeters groter, maar nog steeds goed te noemen (zie Tabel 5.2).

In Tabel 5.2 zijn de eindzettingen weergegeven.

Type	zbf	a=c	a=b/7
ontlast (som 3)	2.167	2.167	2.211
niet ontlast (som 3a)	2.254	2.287	2.343

Tabel 5.2 Eindzettingen (in m)

Waarin:

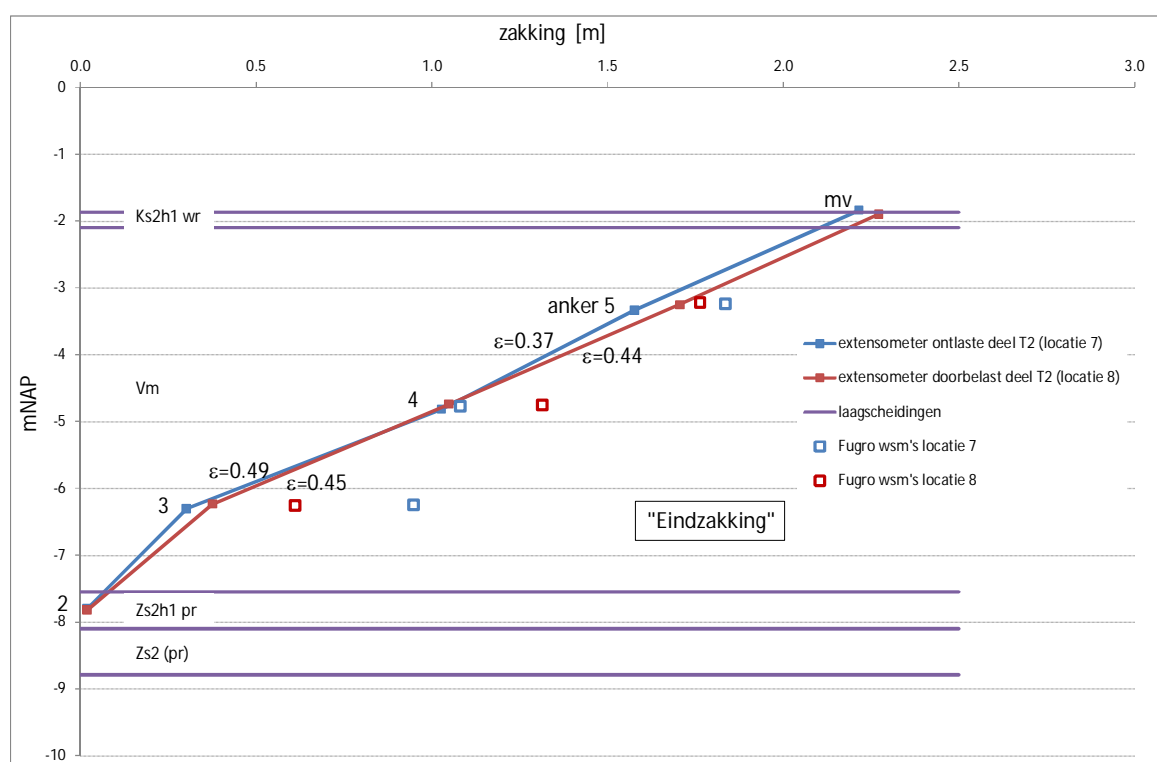
- zbf : zaakbaakfit.  
 a=c : postdicties met  $a=7$ .  
 a=b/7 : postdicties met  $a=b/7$ .

## 6 Analyse

### 6.1 Spannings-rek relaties

Een essentieel aspect bij de vergelijking tussen de verschillende metingen en berekeningen (laboratorium- en veldmetingen en DSettlement berekeningen) zijn de verschillen in de spannings-rek(snelheids)relaties.

In Figuur 6.1 is een zakkingsprofiel over de diepte van beide delen van Terp 2 weergegeven, zoals volgt uit de eindwaarden van de extensometers, én door het verschil tussen begin- en eindwaarden van de waterspanningsmeters van Fugro te gebruiken. Ook zijn rekken aangegeven tussen de ankers 5 en 4 (bovenste stel ankers) en ankers 4 en 3, voor beide locaties.



Figuur 6.1 Profielen van eindzakking bij locaties 7 (ontlaste deel) en 8 (doorbelast deel) van Terp 2

De niveaus van het maaiveld en de ankers wordt hier gememoreerd (Tabel 6.1).

Referentie	Diepte [m -NAP]	
	Terp 7	Terp 8
maaiveld	1,84	1,90
anker 5	3,34	3,25
anker 4	4,82	4,74
anker 3	6,31	6,23

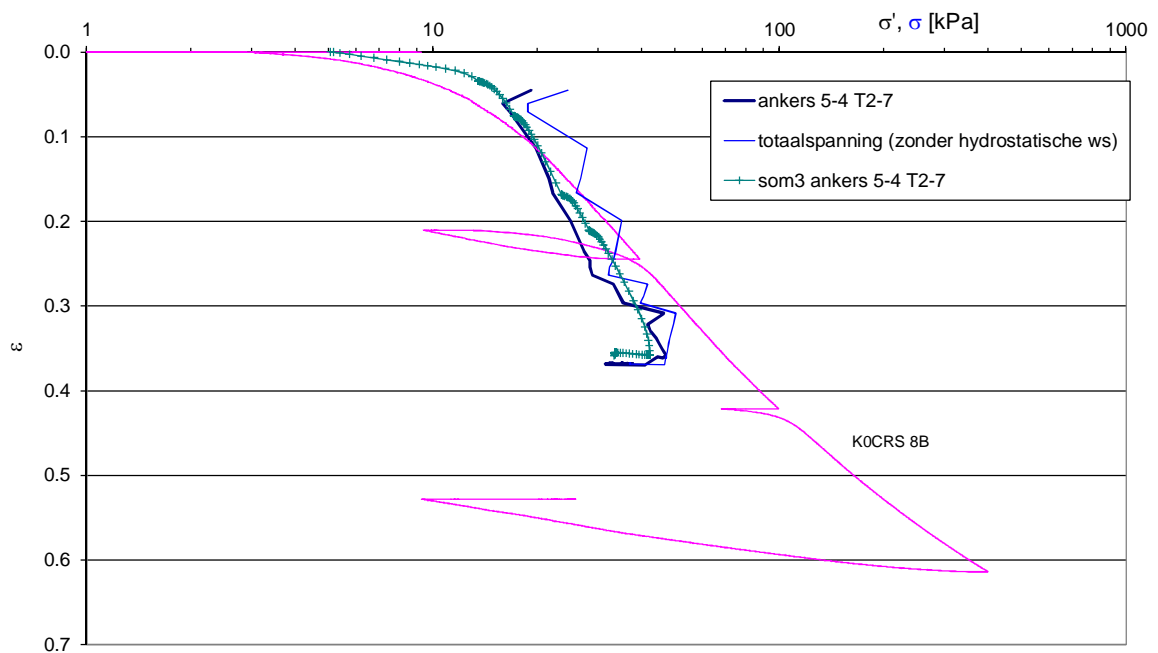
Tabel 6.1 Niveau maaiveld en ankers

De 3 ankers bevinden zich bij beide locaties volledig in het veen. Het disfunctioneren van de extensometer bij Terp 2, locatie 8 is niet van belang als het gaat om alleen de eindzakking. Er valt een aantal zaken op:

- Locatie 7 geeft minder vervorming aan, maar bij anker 4 evenveel als bij locatie 8.
- De rek bij locatie 7 is bij het hogere stel ankers lager dan bij het lagere stel:  $\varepsilon = 0.37$  resp.  $\varepsilon = 0.49$ . Dit correspondeert met het verloop in de gemeten watergehaltes.
- Bij locatie 8 is de verdeling van de rek over de diepte nagenoeg uniform:  $\varepsilon = 0.44$  à  $0.45$ .
- De zetting van de licht humeuze zandlaag onder het veenpakket is nagenoeg nihil.
- De zettingen afgeleid uit de Fugro waterspanningsmetingen zijn groter dan die van de extensometers.

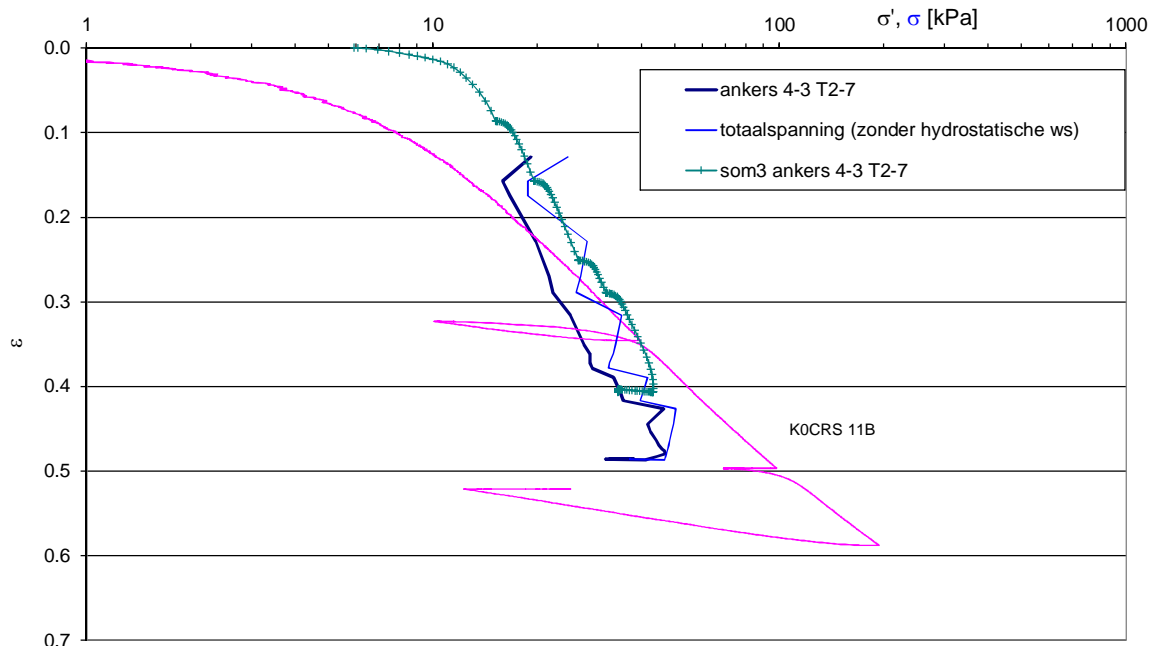
Dat locatie 7 minder vervorming aangeeft is een gevolg van de ontlasting bij locatie 7. De relatief grotere vervorming bij anker 4 leidt tot de geconstateerde toename van de rek met de diepte. Dit wordt ook, maar in mindere mate, in de DSettlement berekeningen gevonden, en is een gevolg van het toenemende watergehalte en de afnemende grensspanning met de diepte. Bij locatie 8 is de verdeling van de rek over de diepte uniform. Dit lijkt onlogisch. De grotere zakking van de Fugro waterspanningsmeters dan de extensometer ankers is hoogstwaarschijnlijk een gevolg van het meezakken van de waterspanningsmeters door negatieve kleeft.

In Figuur 6.2 en Figuur 6.3 worden spannings-rek relatie uit de  $K_0$ CRS proeven vergeleken met het gemeten verloop van de effectieve spanningen en rekken van locatie T2-7 (het ontlaste deel van terp 2), tezamen met de met DSettlement berekende verbanden. Ook wordt de totaalspanning weergegeven die door de zandophoging en dek-kleilaag op het veen drukt.



Figuur 6.2 Terp 2 Spanning - rek plots,  $K_0$ CRS proef, DSettlement som en zoals afgeleid uit hoogste stel extensometers in het veen





Figuur 6.3 Terp 2 Spanning - rek plots,  $K_0$ CRS proef,  $D$ Settlement som en zoals afgeleid uit het lagere stel extensometers in het veen

Doordat de belasting in de terpen geleidelijk toeneemt tijdens de ophoogslagen, konden de rekken aan de toenemende belasting worden gerelateerd. De belasting in de terpen is berekend met behulp van het geleidelijk onder water zakken van de terpen en de gemeten waterspanningen.

De hydrostatische spanning en het gewicht van het veen is hierin niet meegenomen, zodat het verschil met de effectieve spanning alleen de wateroverspanning betreft, en convergentie ontstaat met de opgelegde effectieve spanning na afloop van de consolidatie. De totaalspanning maakt gebruik van:

- 1) Een bovenwater volumiek gewicht van het zand van  $17,9 \text{ kN/m}^3$ .
- 2) Onder water volumiek gewicht van het zand van  $10 \text{ kN/m}^3$ .
- 3) Een spanning door het kleidek van  $14 \times 0,4 = 5,6 \text{ kPa}$ .
- 4) Maaiveld op  $1,84 \text{ m -NAP}$ .
- 5) Grondwaterstand op  $2,0 \text{ m -NAP}$ .
- 6) De maaiveldzakking die bij de extensometerlocatie is bepaald.

Figuur 6.2 toont het gedrag tussen het ondiepere stel ankers, en Figuur 6.3 die van het diepere stel ankers. Voor de vergelijking zijn nabij gelegen  $K_0$ CRS-proeven gekozen. Ter vergelijking is in bijlage C de resultaten van alle uitgevoerde  $K_0$ CRS proeven weergegeven.

Het volgende valt op:

- Hoewel de zettingsparameters van  $K_0$ CRS proeven zijn afgeleid waarmee de postdicties zijn uitgevoerd, komen de postdicties beter overeen met de werkelijke zettingen dan de proef. Deels zal dit samenhangen met de aangepaste grensspanning. Anderzijds kan dit verband houden met het verschil in reksnelheid. Tijdens de  $K_0$ CRS blijft deze constant. In werkelijkheid varieert deze continu, in feite beter passend bij een standaard samendrukkingsproef.

- De gemeten helling van het spanning rek verloop blijft eerst ruim boven de  $K_0$ CRS proef en snijdt het daarna. De helling is dan steiler dan in de  $K_0$ CRS proeven. De vervormingssnelheden in-situ zijn dus aanvankelijk zeer hoog, en nemen af naar waarden die veel lager liggen dan die van de proef.
- De lagere reksnelheden op grotere diepte kunnen samenhangen met de hogere watergehaltes op grotere dieptes die een oorzaak kunnen zijn van de mogelijk grotere monsterverstoring.
- De curve  $K_0$ -CRS proef op monster 8B ligt hoog, dit kan zowel te maken hebben met het inbouwen van het monster in de ring als met een mogelijk iets stijver gedrag van het materiaal.
- Het ontlastgedrag vertoont een behoorlijk stijver gedrag dan in de ontlastlussen van de  $K_0$ CRS proeven, dit zal samenhangen met de grotere ontlasting bij de proef in vergelijking met de situatie in-situ.
- De DSettlement som volgt het in-situ in Figuur 6.2 verloop redelijk. Hierbij moet opgemerkt worden dat, hoewel de parameters uit de  $K_0$ -CRS proef komen, er een andere  $P_g$  gebruikt is.
- De DSettlement som volgt het in-situ in Figuur 6.3 verloop minder goed

Hoewel de berekening meer zetting geeft voor het diepere stel ankers, evenals de meting volgens de extensometers, blijft de berekening toch achter doordat de werkelijke rek aan het einde verder doorloopt. Bij het ondiepere stel ankers is de overeenstemming tussen meting en berekening redelijk.

De exercitie wordt niet herhaald voor locatie 8 bij het doorbelaste deel van de terp. De rekken voor beide locaties en beide stellen ankers zijn namelijk (al) gegeven in Figuur 5.3 en Figuur 5.4. Daar wordt de verschilzetting van extensometers 5-4, 4-3 en 5-3 (dus hoogste stel, lagere stel en gemiddeld), uitgedrukt als (lineaire) rek. Extensometer T2-8 (zie Figuur 5.4) is na 01-05-2012 onbetrouwbaar.

In Figuur 5.3 en Figuur 5.4 zijn de globale reksnelheden gegeven die uit de extensometerwaarnemingen volgen. De figuren beginnen ruim na de ontlasting van locatie T2-7, om de effecten van aanpassing te vermijden. In Figuur 5.3 is globaal een bi-lineair beeld te zien, met de knik bij oktober 2013. De oorzaak van de knik is niet duidelijk. De gegeven globale reksnelheden gelden na de knik. Eerder is betoogd dat Figuur 5.4 onbetrouwbaar is, maar hier is dus wel uitgegaan van de relatieve vervorming tussen de bovenste 3 ankers, in de hoop dat in deze fase de beweging van de opnemers in de instrumenthouder gelijk was voor deze drie ankers.

Onder het ontlaste deel (locatie 7) zijn de reksnelheden (lineaire rek) globaal  $2 \times 10^{-11}$  1/s. Bij het doorbelaste deel (locatie 8) zijn de reksnelheden duidelijk hoger:  $11 \times 10^{-11}$  1/s tussen het diepere stel ankers, en circa de helft daarvan tussen het ondiepere stel (let op de twee verschillende schalen, en de verschoven schaal van de gemiddelde waarneming tussen ankers 5 en 3).

De vermindering van de reksnelheid door de ontlasting bedraagt tegen het einde van de metingen, vanaf oktober 2013 tot midden 2015, circa een factor 3.5 à 5.5. Dit betreft dus de directe vergelijking van de reksnelheden van het ontlaste resp. doorbelaste deel van Terp 2.

De grootste bovenbelasting kort na het aanbrengen van de laatste slag is circa 47 kPa. De eindwaarde van de bovenbelasting is circa 36 kPa. Dat is een factor van 1.30, waar met  $b/c = 13$  een factor 32 aan snelheidsvermindering bij hoort. Dat is een orde groter dan volgt uit de directe vergelijking van beide terpdelen op hetzelfde tijdstip. De snelheidsafname van het doorbelaste terpdelen wordt sterk beïnvloed door onderwaterzakken van de belasting, en in mindere mate door het logaritmisch effect. Wellicht dat spannings spreiding hierin ook een rol speelt.

Geverifieerd is dat de DSettlement som ook deze beide factoren van snelheidsvermindering oplevert. Dus circa 3.5 à 5.5 voor de directe vergelijking van beide terpdelen vanaf oktober 2013 tot midden 2015, en meer dan 50 voor de vergelijking van de snelheid direct na aanbrengen laatste stap en 'eind'snelheid van het ontlaste terpdeel.

Een nadere analyse van de relatie tussen spanning, rek en reksnelheid, zoals dat voor de proefterp T2 is bepaald, kan plaatsvinden in een meer fundamentele studie naar het gedrag van isotachen na ontlasten. Met name is het van belang om na te gaan of de metingen ook geïnterpreteerd kunnen worden vanuit de stelling dat er een eindwaarde van de samendrukking is, en dat de parameter "c" niet constant is maar afneemt met toenemende zetting. Het bi-lineaire gedrag in Figuur 5.3 lijkt daar op te wijzen. Niettemin is in dit rapport met het beschikbare isotachenmodel met constante c, een goede fit gevonden met de metingen.  $K_0$ CRS proeven op veen

Er zijn 3  $K_0$ CRS proeven beschikbaar op monsters uit Begemannboringen die door de voltooide (en ontlaste) terp T1 zijn verricht. Deze worden hier geanalyseerd. De gedachte is dat de bovenbelasting zichtbaar moet zijn in een toename van de grensspanning, terwijl de parameters a,b,c nauwelijks zouden moeten veranderen.

De betreffende Begemannboring is de Boring A die in Tabel 4.1 wordt samengevat. De monsters zijn genomen uit bussen 5 (2 stuks) en 6 (1 stuk). De monsterdiepten worden in Tabel 6.2 gegeven, evenals de isotachenparameters a,b,c, $p_{g1}$  die uit de inverse methode volgen. Daarnaast wordt de diepte gegeven waar deze monsters waarschijnlijk in de onbelaste toestand lagen. Op deze diepte wordt vervolgens de initiële waarde van de isotachenparameters bepaald. De waarden van a zijn nog niet afgeleid, maar deze hebben in deze situatie slechts een geringe invloed op het resultaat.

<b>Monster 5C</b>			
voorbelast		onbelast	
diepte m NAP	-4,27	-3,04	vermoedelijke diepte m NAP
a	0,027		
b	0,38	0,30	b
b/c	13	12 à 13	b/c
pg <sub>1</sub>	21,6	10,6	pg <sub>1</sub>
$\varepsilon = b \ln(pg_{1v}/pg_{1o})$	0,27	0,21	$\varepsilon = b \ln(pg_{1v}/pg_{1o})$
<b>Monster 5B</b>			
voorbelast		onbelast	
diepte m NAP	-4,74	-3,69	vermoedelijke diepte m NAP
a	0,024		
b	0,335	0,30	b
b/c	13	13	b/c
pg <sub>1</sub>	30,6	9,6	pg <sub>1</sub>
$\varepsilon = b \ln(pg_{1v}/pg_{1o})$	0,39	0,35	$\varepsilon = b \ln(pg_{1v}/pg_{1o})$
<b>Monster 6A</b>			
voorbelast		onbelast	
diepte m NAP	-5,29	-4,49	vermoedelijke diepte m NAP
a	0,025		
b	0,335	0,325	b
b/c	12,4	13	b/c
pg <sub>1</sub>	33	8,7	pg <sub>1</sub>
$\varepsilon = b \ln(pg_{1v}/pg_{1o})$	0,45	0,43	$\varepsilon = b \ln(pg_{1v}/pg_{1o})$

Tabel 6.2 Extra uitgevoerde K<sub>0</sub>CRS proeven op voorbelaste veenmonsters, afkomstig van Begemannborring gestoken door voltooide Terp 1

De oorspronkelijke diepte is teruggerekend uit Figuur 6.1 en met die diepte is geïnterpoleerd in de waarden van  $p_{g1}$  en  $b$  die voor Terp 1 gevonden werden op maagdelijke monsters. Er zijn geen waarden voor  $a$  teruggerekend.

Het blijkt dat  $b$  min of meer gelijk is, al is het behoorlijk veel hoger in de meest ondiepe proef. De nu gemeten  $p_{g1}$  waarden zijn inderdaad hoger dan oorspronkelijk. De toename van de grensspanning,  $\Delta p_g$ , bedraagt resp. 11 kPa, 21 kPa en 24,3 kPa. Dat neemt dus toe met de diepte, en is behoorlijk minder dan de berekende toename van circa  $47 - 6 = 41$  kPa (maximale belasting vóór ontlasten min initiële spanning in het veen zoals die zijn afgeleid uit de D-Settlement berekeningen). De ratio van de grensspanningen zou als OCR opgevat kunnen worden en neemt met de diepte toe, resp. 2,0, 3,2 en 3,8.

Belangrijker is om een relatie te leggen tussen de toename van  $p_{g1}$  en de rekken. Als simpelweg wordt uitgegaan van één en dezelfde isotach, dan is de rek gelijk aan

$$\varepsilon = b \ln(p_{g1, \text{voorbelast}} / p_{g1, \text{initieel}})$$

Deze waarde is in de tabel gegeven. De waarden komt redelijk overeen met wat aan de hand van Figuur 6.1 is berekend: circa 0,35 à 0,45 tot 0,37 à 0,45 voor de twee extensometers (afgezien van de geringere rek in Tabel 6.2 bij het ondiepste monster). Dit bevestigt dat de gemeten toename van  $p_{g1}$  in overeenstemming is met de verwachting, én dat de toename van OCR met de diepte, zinnig is. Aan de andere kant kan, indien de eerste lage berekende

rek buiten beschouwing wordt gelaten, ook worden gesteld dat de POP redelijk constant is (varieert tussen 21 en 24 kPa). Met een teruglopende  $p_g$  in de diepte levert dit ook een toename van de OCR op.

## 7 Discussie

DSettlement berekeningen zijn gemaakt op basis van de invers bepaalde parameters van de 10 beschikbare  $K_0$ CRS proeven. De doorlatendheidsparameters zijn bepaald door het, op het oog, fitten van de snelheid van consolidatie. Er is op grond van de nulstand van de waterspanningsmeters gekozen voor een met de diepte afnemende stijghoogte, van 1,9 m - NAP aan maaiveld tot 2,1 m - NAP aan onderzijde van het veenpakket.

De dichtheid van het veen zoals dat uit de boringen en samendrukkingsproeven volgt, lijkt te hoog. Vergeleken met oudere correlaties (Zegveldpolder) is voor een gegeven watergehalte de dichtheid significant hoger. Gekozen wordt voor een dichtheid van  $10 \text{ kN/m}^3$  in plaats van de  $105 \text{ kN/m}^3$  die op basis van de beschikbare data zou worden gekozen. De dichtheid van het veen is niet zo belangrijk als er sprake is van grote belastingstoename, maar uiterst belangrijk bij berekening van de autonome zakkingsnelheid zonder bovenbelasting.

In de DSettlement berekeningen wordt de veenlaag opgedeeld in een aantal sublagen, om de afname van  $p_g$  met de diepte te kunnen modelleren.

De parameterset levert dan te veel zetting op. Door de grensspanningen met een factor 1,3 - 1,4 te verhogen wordt een prachtige fit gevonden. Deze factor volgt uit het verhogen van de referentiespanning  $p_{g1}$  met een factor 1,6, die een niet lineair verband heeft met  $p_{g2}$ . Zowel voor het doorbelaste deel van de terp, als het ontlaste deel.

De oorzaak van de discrepantie tussen de  $p_g$  van proeven en in het veld is onduidelijk. Te denken valt aan monsterverstoring en temperatuuffecten. Het verschil in temperatuur kan een rol spelen. De proeftemperatuur bedraagt iets meer dan  $21^\circ\text{C}$ ; de grondtemperatuur (zie Figuur 4.5) bedraagt gemiddeld zo'n  $10^\circ\text{C}$ . De indicaties uit de literatuur bevestigen deze invloed voor een belangrijk deel, maar niet volledig. Echter, de invloed is dermate groot dat wordt geadviseerd nader onderzoek te doen in hoeverre het een systematisch effect betreft.

Het effect van monsterverstoring is onduidelijk. Enerzijds zal verdichting van het veen tot een hogere grensspanning kunnen leiden, anderzijds is denkbaar dat door gebruik van te zware steunvloeistof in de Begemannboring, het veen in de kous opgeknepen wordt, zodanig dat de grensspanning afneemt. Wellicht daarom zijn (goede) alternatieve boringen te verkiezen, bijvoorbeeld Pistonboringen.

Voor de afleiding van de zettingsparameters uit  $K_0$ CRS proeven is een nieuwe spreadsheettool ontwikkeld. Deze methode gaat uit van de het invers fitten van de proef met het a,b,c isotachenmodel. Ten opzichte van de huidige standaarduitwerking levert het redelijk gelijke b waarden, maar duidelijk lagere  $p_g$  waarden. Deze  $p_g$  waarden zijn echter nog steeds duidelijk lager dan de in de D-Settlementberekeningen gebruikte waarden. Het verschil hiermee bedraagt een factor 1,3 - 1,4. De waarde b/c is erg constant als gekozen wordt om de relaxatiefasen apart te fitten. De spreadsheet kan dienen om naast de huidige standaard verwerkingsmethode de inverse methode te implementeren, zodat beide methoden met elkaar vergeleken kunnen worden voor verschillende grondsoorten.

Bij het fitten is gebleken dat de maagdelijke spannings-totaalrek curve verspringt als a, b of  $\sigma'_{v0}$  worden gewijzigd, hetgeen onhandig is. Om deze reden is gekozen om de fit uit te voeren met de referentiespanning  $p_{g1}$  op basis van de totale rekken, dus met isotachen met helling b. De huidige afspraak in DSettlement gaat uit van de kruip-isotachen met helling b-a, uitgezet tegen het kruipdeel van de rek, waarbij de spannings-as gesneden wordt bij  $p_{g2}$ . Voor het fitten is een spreadsheet beschikbaar.

Het beeld van  $p_g$  met de diepte vertoont een consistente afname, zonder gekke sprongen. Deze beide in tegenstelling tot de standaarduitwerking.

Er wordt een goede overeenstemming tussen de metingen en de berekeningen bereikt, alleen voor de grensspanning is een factor 1,6 ( $p_{g1}$ ) nodig.

Opgemerkt wordt dat Fugro in de Geolimpuls rapportages en in een recente publicatie erg lage waarden van  $c$  vindt. Zelf wordt er door hen een factor 1,7 op de  $c$  gezet (zie Fugro, 2013). De DSettlement fits lijden daaronder: er zijn grote correcties nodig in de zakbaakfitmodule om aansluiting te krijgen bij de veldmetingen. Ook de gebruikte waarde van  $b/c$ , zowel voor als na de zakbaakfit, is ongeloofwaardig. Verder gebruikt Fugro consequent  $POP = 7$ , zonder duidelijke onderbouwing.

Spanningsspreidingseffecten zijn niet beschouwd. Verwacht wordt dat het effect klein is in het midden van de ophoging. Fugro neemt een correctiefactor van 0.9 hiervoor. Het gewicht van het ophoogzand is bepaald aan de hand van boringen die in later instantie door de ophoging zijn gemaakt.

Bij de DSettlement exercities is alleen Terp 2 beschouwd. Daarin zijn verticale drains gebruikt waardoor consolidatie minder een rol speelt. De fit aan Terp 1 wordt bemoeilijkt omdat door de doorlatendheidsparameters aan te passen, ook langeduur effecten zijn te creëren. Het effect van aanpassingen aan  $c$  resp. de combinatie ( $k_0$ ,  $C_k$ ) zijn dan niet (eenvoudig) te scheiden. Bij eventuele volgende proefterpen dient bij het ontwerp dit aspect voldoende onder ogen te worden gezien.

De verticale drains zijn niet met de drainoptie van DSettlement berekend, maar door een hoge doorlatendheid te kiezen.

De mooie fits aan Terp 2, ook voor de ontlastfase, wijzen erop dat het isotachenmodel, ook zonder speciale ontlastmodule, goed werkt. De effectieve ontlasting ging volgens schattingen bij Terp 2 van 47 kPa naar 36 kPa, dus een OCR van 1,3. Een alleszins gebruikelijke waarde in de praktijk. De conclusie zou dus kunnen zijn dat het huidige isotachenmodel voldoet, in elk geval bij niet al te grote belastingafname. De nodige parameters kunnen op rigide wijze uit  $K_0$ CRS proeven worden bepaald, en alleen op de grensspanning is een factor (in dit geval 1,6 op  $p_{g1}$ ) nodig.

De laatste waarnemingen van de twee zakbaakwaarnemingen op Terp 2 lijken te wijzen op een sterke vertraging van de zettingen vanaf 22-07-2014, die aanhoudt tot de laatst beschikbare meting op 21-10-2015. De zakbaken op Terp 1 vertonen dat ook. Er is sprake van een trendbreuk. Van de twee extensometers bij Terp 2 is alleen die op het ontlaste deel nog bruikbaar; na circa 1 mei 2013 vertoont de extensometer op het doorbelaste deel kuren bij alle ankers. De bruikbare extensometer is langer afgelezen en bevestigt niet direct het beeld van de zakbaak. Er is wel sprake van een langzame afname. De mate van afname van de zakkingsnelheid is van belang in verband met de theorie die opgeld doet (Kawabe, 2013) dat er een einde aan de kruip is. Dat wordt niet voorspeld door het huidige isotachenmodel.

Een markant resultaat van de veldmetingen betreft de beweging van de grond zonder belasting. De metingen door Deltares in een referentievak ten zuid-oosten van de terpen met extensometers en vibrating wire piezometers levert opmerkelijke resultaten. Het maaiveld en de ondergrond blijkt met onverwacht hoge snelheid te zakken en weer te rijzen. In het eerste halfjaar van de meting, van 11 november 2010 (begin ophogen was 28 oktober 2010) tot 2 juni 2011, zakte het maaiveld 12 mm. Daarna vond in 2 maanden tijd 10 mm rijzing plaats die

dus de zakking bijna geheel teniet deed. Iets dergelijks is eerder ook in een ander project geconstateerd. Dit bleek te correleren aan hevige regenval in die periode. De grootte van deze beweging komt overeen met de bevinding van Hansje Brinker langs de A13. Waterpassingen van 'corner reflectors' laten seizoensbewegingen zien van circa 15 mm, consequent over meerdere jaren.

Een manier om  $p_g$  te kiezen voorafgaand aan een DSettlement berekening is om voor het onbelaste maaiveld de zettingssnelheid te berekenen. Immers

$$\dot{\varepsilon} = c / \tau \quad \text{Eq. (1)}$$

en

$$\tau = OCR^{b/c} \quad \text{Eq. (2)}$$

Dit is gedaan voor Terp 2, waarbij de veenlaag in een aantal sublagen is verdeeld. Met de  $p_g$  uit de inverse  $K_0$ CRS fits kwam een zeer hoge vervormingssnelheid in onbelaste toestand, van 5,5 m/j. Met de factor van 1,6 op  $p_{g1}$  nam dit met een factor 1:450 af tot 12 mm/j. Het is dus altijd zinvol om de keuze van  $p_g$  af te ijken aan de zakkingsnelheid van de ondergrond.

Of deze seizoensbeweging van orde 12 mm/j de juiste richtwaarde is om  $p_g$  aan te passen moet beter worden vastgesteld. Er is ook een langjarige autonome zakkingsstrend. Bij de 4 corner reflectors bijvoorbeeld lag dat tussen 0 en 12 mm/j. Wellicht speelt echter tilt, doorgaande zakking, en seizoensuitzetting van de reflectoren een rol en zijn deze getallen misleidend. Bovendien moet naar alle invloeden op de autonome zakking worden gekeken. In isotachenmodellen wordt alleen het effect van effectieve spanning verwerkt. De bodembeweging (amplitude en trend) hangt echter niet alleen af van grootte en verandering van effectieve spanning, maar ook van grootte en verandering van bodemtemperatuur, en van gasvorming en verwerking. Fluctuatie van bodemtemperatuur is vooral nabij het maaiveld significant. Omdat de vervormingssnelheid bij opwarmen meer toeneemt dan dat het afneemt bij afkoelen, resulteert fluctuatie in netto zakking. Zie Fox en Edil (1994).

Aanbevolen wordt daarom om, met het oog op de correlatie tussen initiële grensspanning en autonome zakkingsnelheid, betrouwbare langjarige metingen van de autonome zakkingsnelheid van veenpakketten te verrichten. Dergelijke metingen zijn ook voor een goed begrip van het fenomeen maaiveldsdaling van veengebieden van belang.

De vibrating wire piëzometers van Deltares lijken op de lange duur onbetrouwbaar te worden. De Fugro waterspanningsmeters geven geloofwaardige metingen over zeker de eerste twee jaar. Daarna treden fluctuaties op, die echter voor de meeste waterspanningsmeters gelijk zijn. De grootte van de fluctuatie bedraagt niet meer dan 4 kPa. Het is mogelijk een seizoensbeweging. De betrouwbaarheid van de Deltares extensometer waarnemingen in veen is nog onvoldoende gewaarborgd. In elk geval is één extensometer vanaf najaar 2013 onbruikbaar.



## 8 Conclusies en aanbevelingen

### 8.1 Conclusies

De heranalyse van de zetting van proefterp 2 in de Bloemendalerpolder laat zien dat het huidige isotachenmodel goed in staat is zowel belasting als belasting/ontlasting van de ondergrond te berekenen.

Een redelijk reproduceerbare berekeningswijze is gegeven. Alleen ten aanzien van de keuze van de initiële grensspanning is nog onderzoek te verrichten.

De parameters worden bepaald door invers fitten van  $K_0$ CRS proeven met het a,b,c isotachenmodel. De parameters kunnen op de grensspanning na, in de berekening worden overgenomen.

Als op de grensspanning een factor van 1,6 wordt gezet over de hele diepte, wordt een goede fit berekend met DSettlement van beide terpdelen, dus zowel het ontlaste deel als het doorbelaste deel.

De grensspanning wordt tamelijk eenduidig uit de inverse fit bepaald. De waarde blijkt nogal wat lager te zijn dan gebruikelijk, maar vertoont wel een consistente variatie over de diepte, anders dan uit de huidige bepalingwijze volgt.

Het is nog niet mogelijk om aanwijzingen te geven hoe de opslagfactor op de grensspanning te bepalen. Hier is de autonome vervormingssnelheid van het maaiveld zonder bovenbelasting berekend. Zonder de factor 1,3 tot 1,4 werd een ongeloofwaardig hoge vervormingssnelheid (5,5 m/j) gevonden. Mét, een waarde van 12 mm/j. Deze lijkt redelijk overeen te komen met waarnemingen van de maaiveldsdaling ter plaatse.

De berekening van de autonome maaiveldsvervorming blijkt uiterst gevoelig voor bijna alle parameterkeuzen, maar vooral voor volumiek gewicht van het veen, en grensspanning. Bij de vergelijking met gemeten bodembewegingen komen ook de variatie van de hydrologische omstandigheden (waterspanning, regenval, verdamping), temperatuursvariatie en gasvorming/verwerking om de hoek kijken. Het gaat niet alleen om daling, maar ook om rijzing. Er is vaak sprake van seizoensbewegingen, in de orde van circa 12 mm.

De oorzaak van de benodigde opslagfactor op de grensspanning is niet duidelijk. Monsterverstoring kan twee kanten uitwerken: verdichting zal naar verwachting een hogere grensspanning bewerkstelligen, maar opknijpen van het monster, door een te hoge dichtheid van de steunvloeistof in de Begemannborring, kan mogelijk wel tot achteruitgang van de grensspanning leiden. De hogere temperatuur in het laboratorium, 21°C, ten opzichte van de grond in-situ, circa 10°C, werkt een significant lagere grensspanning in de hand. De invloed bepaald mogelijk voor 50% tot zelfs ruim 95% dit effect. Het wordt daarom geadviseerd dit effect nader te onderzoeken teneinde vast te kunnen stellen of het een systematisch effect betreft.

De gedachte die thans in de literatuur opgeld doet dat er een einde is aan de kruipvervorming, en dat de kruipparameter (bijvoorbeeld 'c') niet constant is maar afneemt (er is een eind-isotach), kon niet aan de hand van de metingen in de Bloemendalerpolder worden bevestigd. De extensometervervormingen lijken er niet op te wijzen. De zakbaakwaarnemingen geven mogelijk wel een sterke reductie weer, afgaande op de laatste

twee metingen, maar, althans in dit rapport, wordt ervan uitgegaan dat de ogenschijnlijke trendbreuk aan een meetfout is toe te schrijven.

Tenslotte blijkt dat de  $p_g$  definitie in DSettlement (dat de grensspanning bepaald wordt door alleen viskeuze rekken) niet goed werkt bij de inverse berekeningsmethode. Er is gekozen om een  $p_g$  te gebruiken op basis van de totale rekken, dus met isotachen met helling b. De huidige afspraak in DSettlement gaat uit van de kruip-isotachen met helling b-a, uitgezet tegen het kruipdeel van de rek, waarbij de spannings-as gesneden wordt bij  $p_{g2}$ . Bij het invers fitten verspringt de maagdelijke spannings-totaalrek curve als a, b of  $\sigma'_{v0}$  worden gewijzigd. Dat is onhandig bij het invers fitten, daarom wordt de referentiespanning  $p_{g1}$  gebruikt, die alleen gebaseerd is op de directe, maagdelijke rekken. Dit wordt in Bijlage A nader beschreven.

## 8.2 Aanbevelingen

Ten aanzien van zettingsberekeningen:

- Werk  $K_0$ CRS proeven uit met zowel de huidige als de inverse methode op basis van het a,b,c isotachenmodel.
- Vergelijk beide methodes met behulp van DSettlement berekeningen voor verschillende grondsoorten.
- Verder onderzoek naar de mogelijke oorzaken, naast het verschil in temperatuur tussen het laboratorium en het veld, van het verschil in grensspanning uit de proeven en wat in dit onderzoek als mogelijk realistischere waarde wordt afgeleid.
- Bepaal de opslagfactor op de grensspanning uit een analyse van de autonome maaiveldvervorming voor verschillende grondsoorten.
- Ondersteun deze bepaling met een apart meetproject van autonome maaiveldbeweging, waarin aandacht is voor effecten van eigen gewicht, regenval, verdamping en waterspanningen, temperatuurswisselingen en gasvorming/verwering.

Ten aanzien van veldmetingen:

- Verbeter de toepassing van extensometers in veenbodems.
- Onderzoek de bruikbaarheid van vibrating wire opnemers over langere tijd.
- Wees voorzichtig met Begemannmonsters. Er zijn aanwijzingen dat Pistonboringen in veen ook goede resultaten bereiken.

Praktisch:

- Onderzoeken waarom de gemeten volumieke gewichten van veenmonsters zoveel hoger waren dan redelijkerwijs aannemelijk is.
- Onderzoeken of de trendbreuk in de zakbaakwaarnemingen van Terpen 1 en 2 vanaf 22-07-2014 geloofwaardig is.

## Literatuur

ADC ArcheoProjecten 2014, Flevoland Kennisontwikkeling Programma Archeologie Hanzelijn. Mogelijkheden tot in-situ conservering van begraven archeologische landschappen. Deelonderzoek 2B; de invloed van tijdelijke en permanente afdekkingen of ophogingen op maaiveld op de conservering van archeologische vindplaatsen in de ondergrond.

CUR aanbeveling 101: Uitvoering en interpretatie van de samendrukkingsproef

Den Haan, 2003. Het a,b,c, isotachenmodel: hoeksteen van een nieuwe aanzet voor zettingsberekeningen, *Geotechniek*, 2003 (4) 28-35

Den Haan & Kruse, 2007. Characterisation and engineering properties of Dutch peats. Second International Workshop on Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils, 29 November - 2 December 2006, Singapore. Volume 3, pp. 2101-2133. Editors T.S. Tan, K.K. Phoon, D.W. Hight, S. Leroueil. A.A. Balkema

Den Haan (2008), De intrinsieke tijd in het isotachenmodel. *Geotechniek* 34, januari 2008, pp 34-38

D-Settlement, User Manual version 16.1 , Deltares 2016

Deltares, 2013: Deltares Memo 1206325-000-GEO-0005 (2013). Kennisontwikkelingsprogramma archeologie Hanzelijn, Evaluatie grondonderzoek en monitoring proefterp 1 Bloemendalerpolder te Weesp.

Fugro, 2010: Fugro rapport 3009-0261-000.R01 (versie 3, 27 augustus 2010): Projectplan betreffende proefterpen project Bloemendalerpolder te Weesp

Fugro, 2013: Geolimpuls, Langetermijn metingen en modelvalidatie. Proefterpen Bloemendalerpolder. Presentatie Flip Hoefsloot, Fugro Geoservices op KIVI-NIRIA dag op 21 november 2013.

Grimstad, G. and M.A.H. Ashrafi (2015): Back calculation of embankments with OCR determined from prediction of initial strain rate rather than from OCR determined from disturbed samples in oedometer tests under unknown (different than the in-situ) stress condition, with a simple creep model. January 2014, CREBS 4 workshop, Delft

Kawabe, S., Tatsuoka, F. 2013. Creep characteristics of clay in one-dimensional compression with unloading/reloading cycles. *Proceedings ICSMGE, Paris 2013*, p235-238.

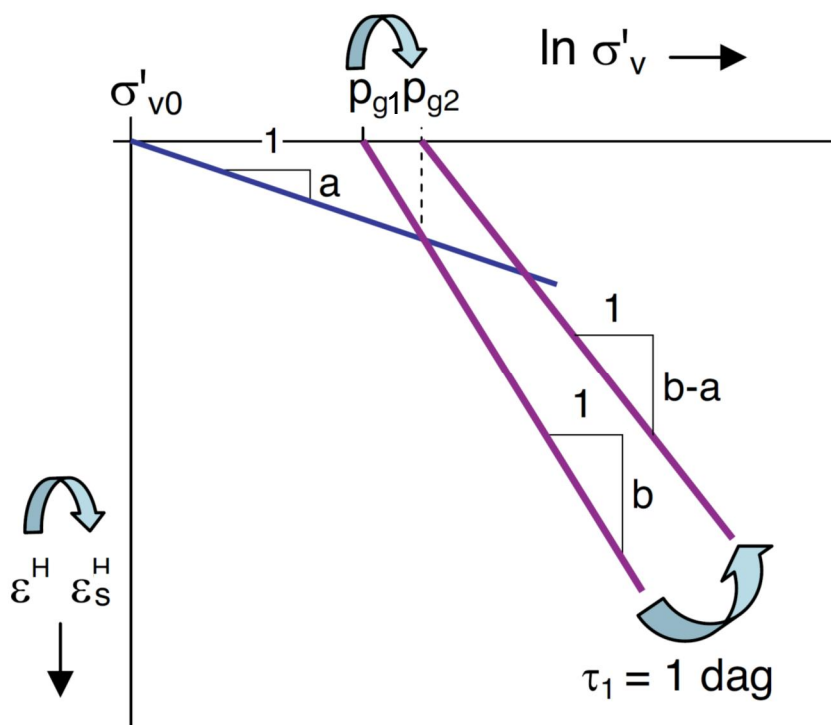
Fox, P.J. & Edil, T.B. (1994) Temperature-induced one-dimensional creep of peat. *Advances in understanding and modelling the mechanical behaviour of peat*. Balkema.

## A $p_{g1}/p_{g2}$ discussie

De huidige afspraak in DSettlement gaat uit van de kruip-isotachen met helling  $b-a$ , uitgezet tegen het kruipdeel van de rek, waarbij de spannings-as gesneden wordt bij  $p_{g2}$ . In [Den Haan, 2008] is uitgelegd dat  $p_{g2}$  afhangt van  $p_{g1}$ ,  $a$ ,  $b$  en  $\sigma'_{v0}$ . Zie ook Figuur A.1. Bij het invers fitten verspringt de maagdelijke spannings-totaalrek curve als  $a$ ,  $b$  of  $\sigma'_{v0}$  worden gewijzigd. Dit is onhandig bij het fitten.

Daarom is voor het fitten gekozen om een referentiespanning te gebruiken op basis van de totale rekken, dus met isotachen met helling  $b$ . De 1-dags isotach snijdt de spannings-as dan bij  $p_{g1}$ , zie Figuur A.1

(NB:  $\varepsilon_s^H$  is synoniem met  $\varepsilon_{vp}^H$ ).



Figuur A.1 Verdraaiing isotachen en verandering grensspanning door aftrek van de directe rek in de “ $b-a$ ” beschrijving

Om deze reden is  $p_{g1}$  als referentiespanning bij het invers fitten gebruikt. Aanbevolen wordt dit ook te doen als het invers fitten als standaard verwerkingsmethode wordt toegepast.

## B Invers fitten $K_0$ CRS proeven - spreadsheet tool

Bij de klassieke uitwerking van de  $K_0$ CRS proef wordt uitgegaan van het leggen van raaklijnen langs de verschillende onderdelen van de spanning-rek curve of tijd-rek curve, zoals dat bij de klassieke samendrukkingsproef ook gedaan wordt. In het kader van het hier gerapporteerde onderzoek is onderzocht in hoeverre de proef kan worden nagerekend na het invoeren van beginparameters. Door het continu laten variëren van de parameters worden parameters gekozen waarmee de proef nagerekend kan worden.

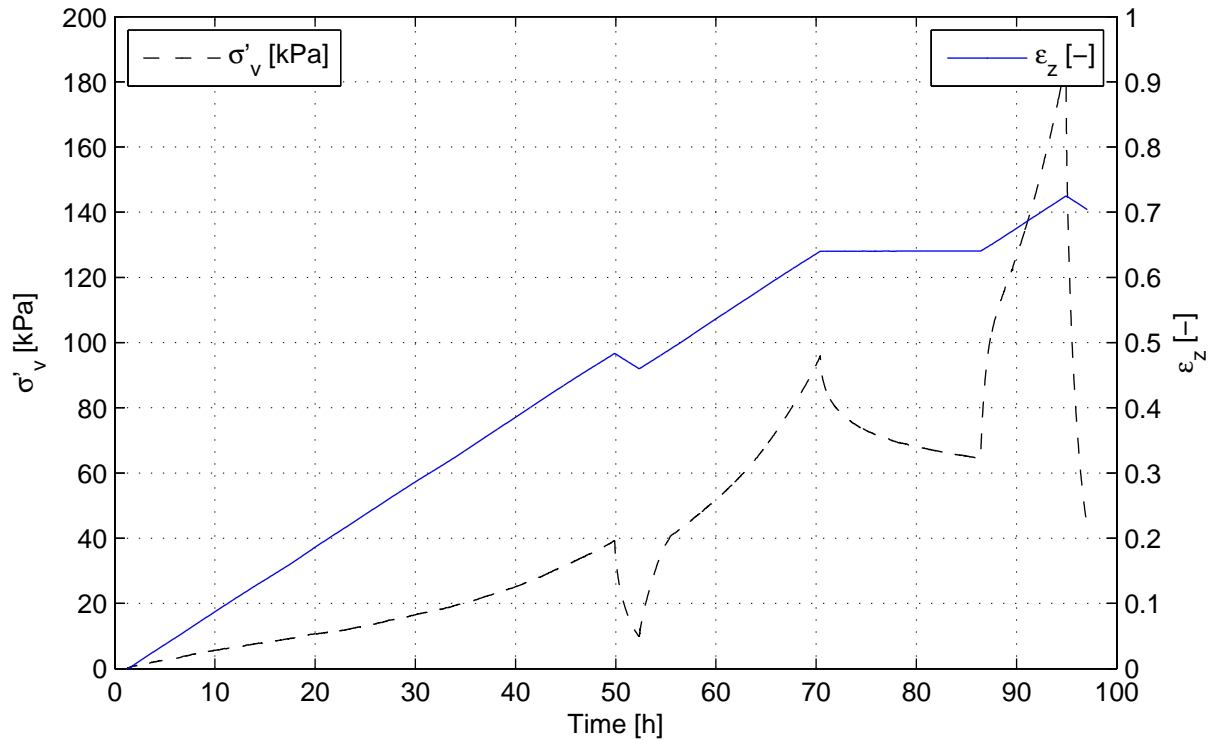
De fitparameters die worden ingevoerd zijn  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $p_{g1}$  en  $\sigma'_{v0}$ . De in het laboratorium opgelegde  $t - \varepsilon^C$  rekkpad wordt in de eerste 2 lange kolommen weergegeven. Daarbij wordt echter tussen keerpunten in het rekkpad lineair geïnterpoleerd, om de numerieke stabiliteit te verbeteren. Deze keerpunten zijn te zien in kolommen H en I bovenaan. Daarmee worden kolommen D en E bovenaan bepaald. Kolommen F en G bovenaan bevatten initiële tijdstapgrootte en de aangroefactor voor de tijdstappen. Deze hoeven meestal niet veranderd te worden. Er zit een visual basic programma 'tijdrekk' achter het spreadsheet waarmee de eerste twee lange kolommen ( $t$  en  $\varepsilon^C$ ) worden berekend. Te bedienen met ctrl-q. De overige lange kolommen worden daaruit berekend, waarvan uiteraard tenslotte  $\sigma'_v$  de belangrijkste is. Fitten gaat snel. Er is wel enige ruimte om met verschillende parametercombinaties hetzelfde effect te bereiken, maar niet veel.

In het Excel bestand "alle relaxatiefasen.xlsx" kan de relaxatiefase apart worden ingevoerd om b/c te berekenen. De gevonden waarde was in 7 van de 10 proeven, zonder afwijking 13.0. Prettig, want dan kan deze waarde gebruikt worden om uit de gevonden  $b$ ,  $c$  af te leiden. Apart berekenen is zinvol omdat in de integrale inverse fit, de berekende toestand aan het begin van de relaxatiefase afwijkt van de gemeten toestand.

Zoals uitgelegd in de samenvatting wordt in het spreadsheet,  $p_{g1}$  berekend. Bij variatie van  $a$  of  $\sigma'_{v0}$  blijft de maagdelijke  $\sigma'_v - \varepsilon$  lijn dan op zijn plaats. In worksheet '5B uitwerking' is nog de  $p_{g2}$  formulering aangehouden, hetgeen in overeenstemming is met de aanname in DSettlement en Plaxis. Daarin wordt  $p_{g2}$  gebruikt om de isotachen te lokaliseren, met als idee dat die isotachen in termen van  $\varepsilon_{vp}$  moeten worden weergegeven. Dan wijzigt de maagdelijke  $\sigma'_v - \varepsilon_{(totaal)}$  lijn van plaats als  $a$  of  $\sigma'_{v0}$  veranderen (maar de maagdelijke  $\sigma'_v - \varepsilon_{(vp)}$  lijn niet). Dat is dus in worksheet '5B uitwerking' te zien. Varieer  $a$  of  $\sigma'_{v0}$  en constateer dat de maagdelijke lijn beïnvloed wordt. In worksheet '5B uitwerking (2)' is  $p_{g1}$  gebruikt en blijft de lijn op zijn plaats. Dat is fysisch gezien zinnig. Deze laatste versie is verder gebruikt bij de uitwerking van de proeven.

Zie spreadsheet nieuwe 1D inverse isotachenuitwerking Ontwikkeling.xlsx

## **C K<sub>0</sub>-CRS proeven**



#### Description of soil sample:

Soil description (NEN 5104)	Veen, mineraalarm
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	9.2
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	0.6
Water content [%]	1380.2
Water content final [%]	438.7
Initial saturation [%]	0.91 (S)
Void ratio – initial [-]	24.62 (e)
Sample disturbance index [%]	6.2, moderate quality
S and e calculated with assumed $\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ] of	16.0

#### Test overview (test plan):

Stress loading phase [kPa]	40
Stress unloading phase [kPa]	10
Stress reloading phase [kPa]	100
Stress relaxation phase [kPa]	100
Maximum stress [kPa]	200

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2012-05-11

signed  
ess

GI-9.3 Lange termijn metingen terp Weesp: Proefterpen project Bloemendalerpolder  
Boring B30, sample 5B, depth: -6.01 m to -6.06 m NAP

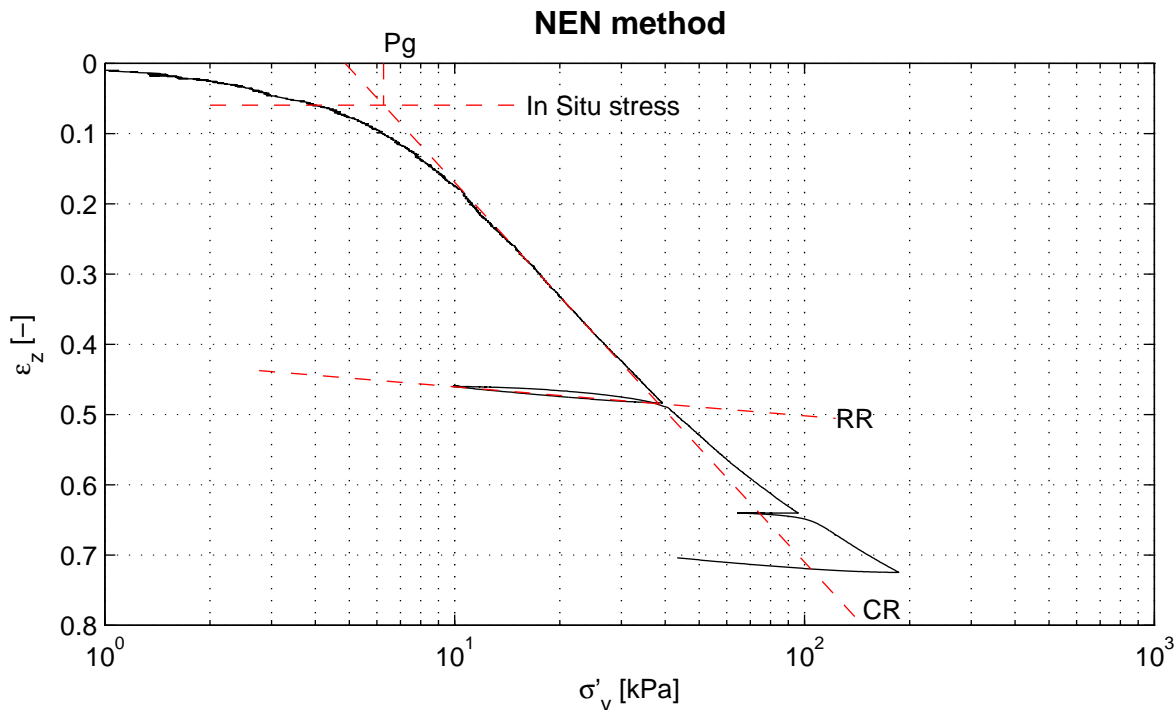
project  
1202415.20

seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS5B

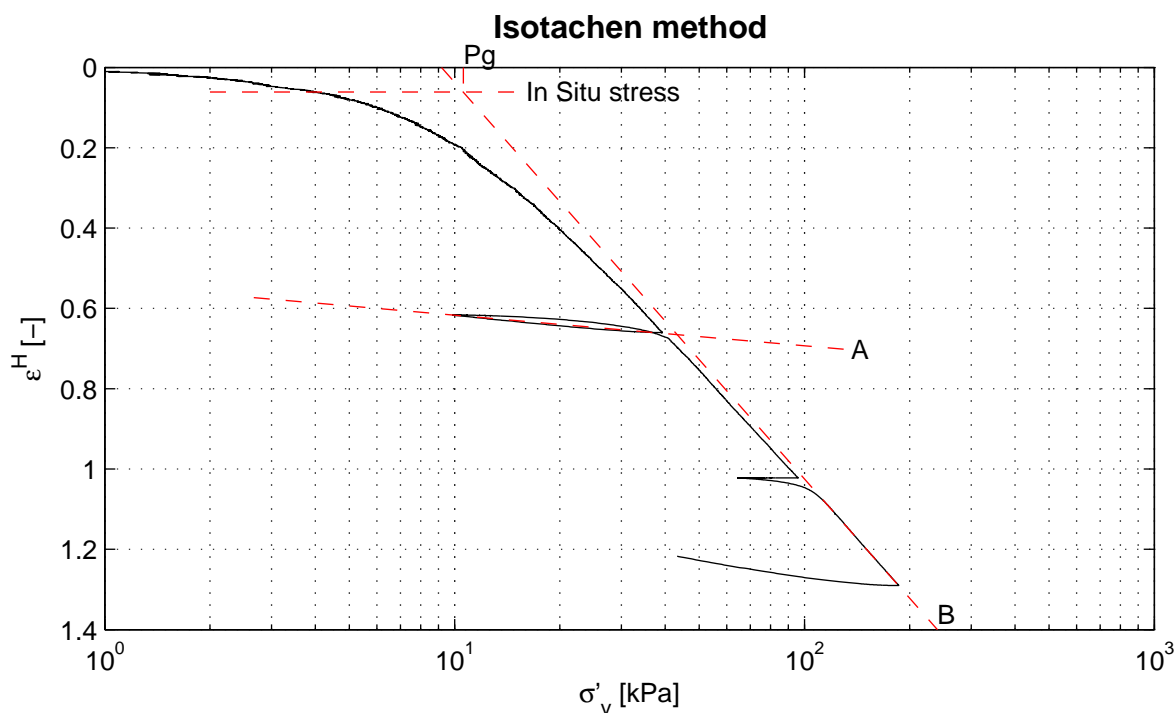
page  
1



RR = 4.1e-002  
CR = 5.4e-001

$C_\alpha = 5.1e-002$

$P_g = 6.3$  kPa



A = 3.3e-002  
B = 4.3e-001

C = 4.0e-002

$P_g = 10.6$  kPa

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: [www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)  
Telefax +31 (0)15 261 0821

date  
2012-05-11

signed  
ess

GI-9.3 Lange termijn metingen terp Weesp: Proefterpen project Bloemendalerpolder  
Boring B30, sample 5B, depth: -6.01 m to -6.06 m NAP

project  
1202415.20

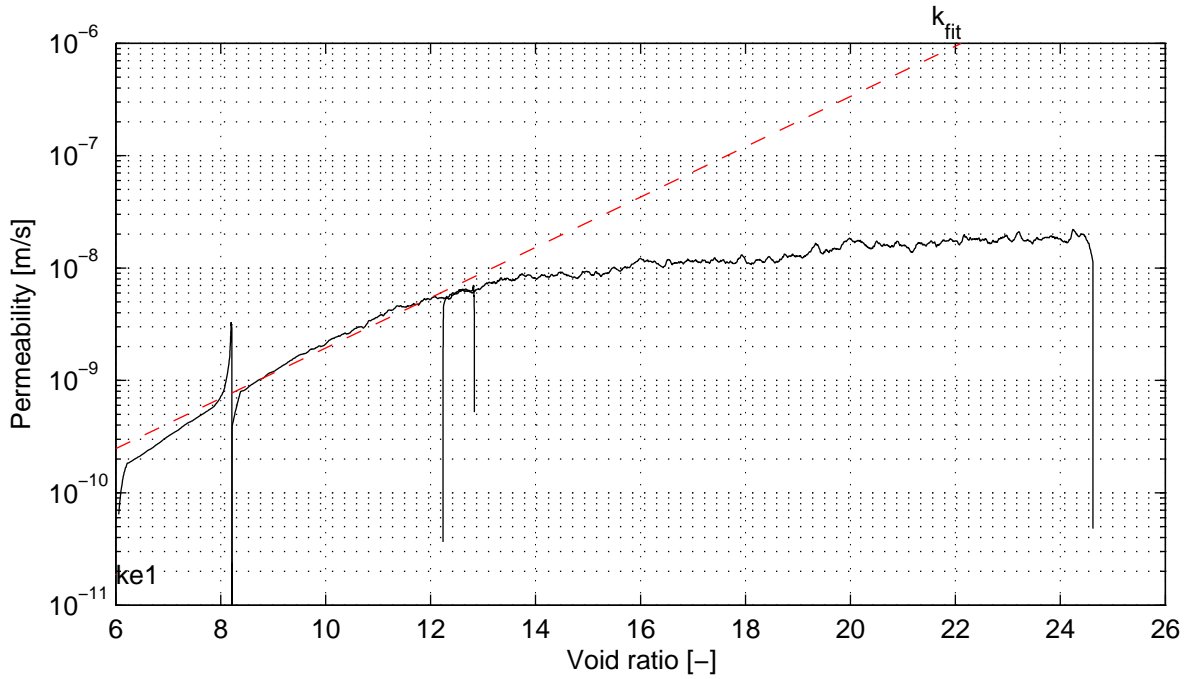
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS5B

page  
2

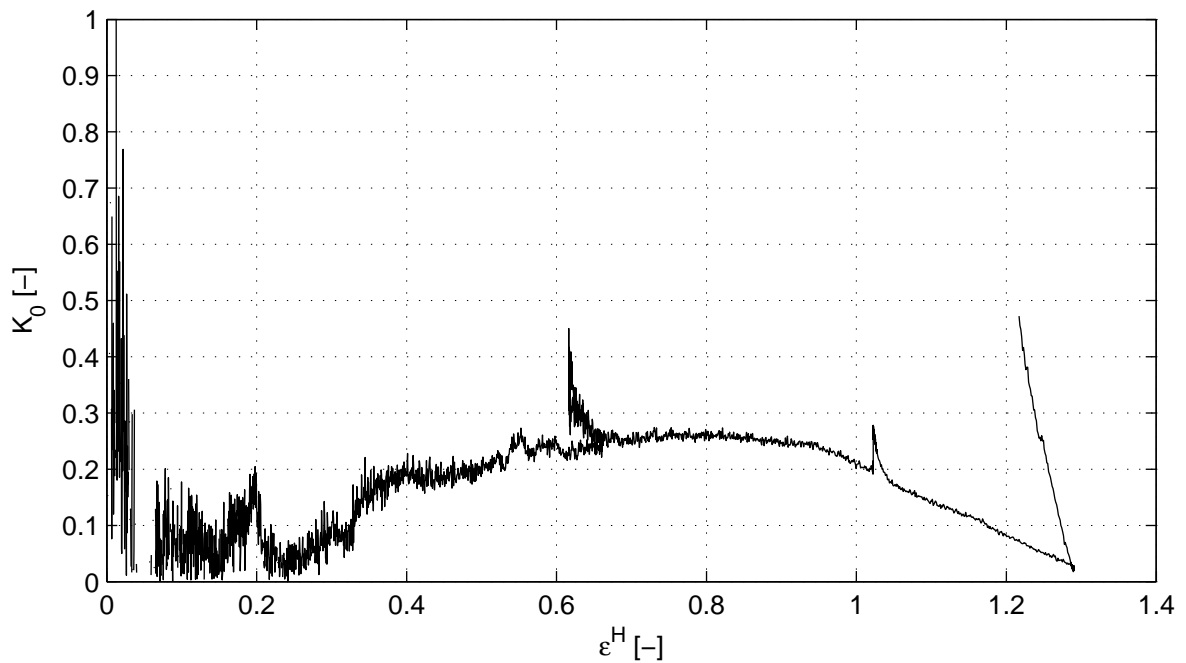




$k_{e1} = 1.9e-011 \text{ m/s}$

$k_{e0} = 3.6e-006 \text{ m/s}$

slope =  $2.24e-001$



$v = 0.18$

$K_{0c} = 0.25$

$K_{0e} = 0.04$

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: [www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)  
Telefax +31 (0)15 261 0821

date  
2012-05-11

signed  
ess

GI-9.3 Lange termijn metingen terp Weesp: Proefterpen project Bloemendalerpolder  
Boring B30, sample 5B, depth: -6.01 m to -6.06 m NAP

project  
1202415.20

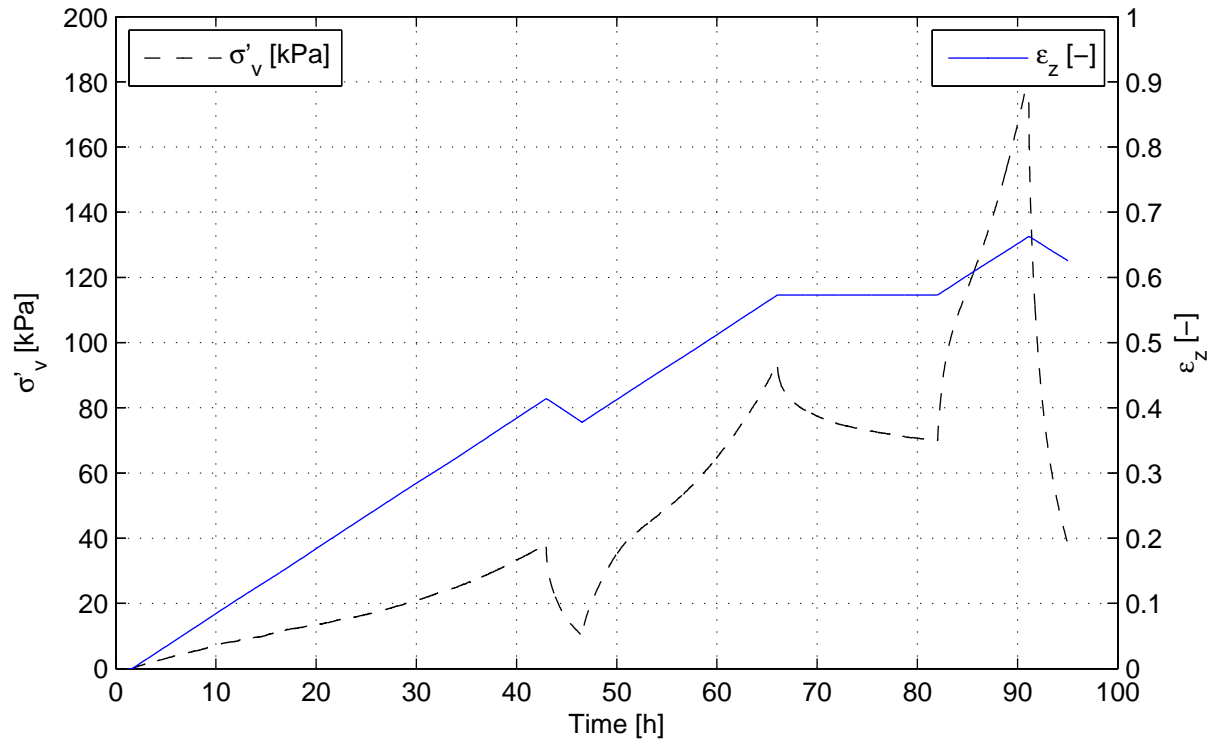
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS5B

page  
3

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-24 09:19



#### Description of soil sample:

Soil description (NEN 5104)	Veen, mineraalarm
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	10.0
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	0.8
Water content [%]	1142.0
Water content final [%]	433.6
Initial saturation [%]	0.99 (S)
Void ratio – initial [-]	18.88 (e)
Sample disturbance index [%]	4.7, moderate quality
S and e calculated with assumed $\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ] of	16.0

#### Test overview (test plan):

Stress loading phase [kPa]	40
Stress unloading phase [kPa]	10
Stress reloading phase [kPa]	100
Stress relaxation phase [kPa]	100
Maximum stress [kPa]	200

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2012-05-08

signed  
Ess

GI-9.3 Lange termijn metingen terp Weesp: Proefterpen project Bloemendalerpolder  
Boring B30, sample 4C, depth: -5.01 m to -5.06 m NAP

project  
1202415.20

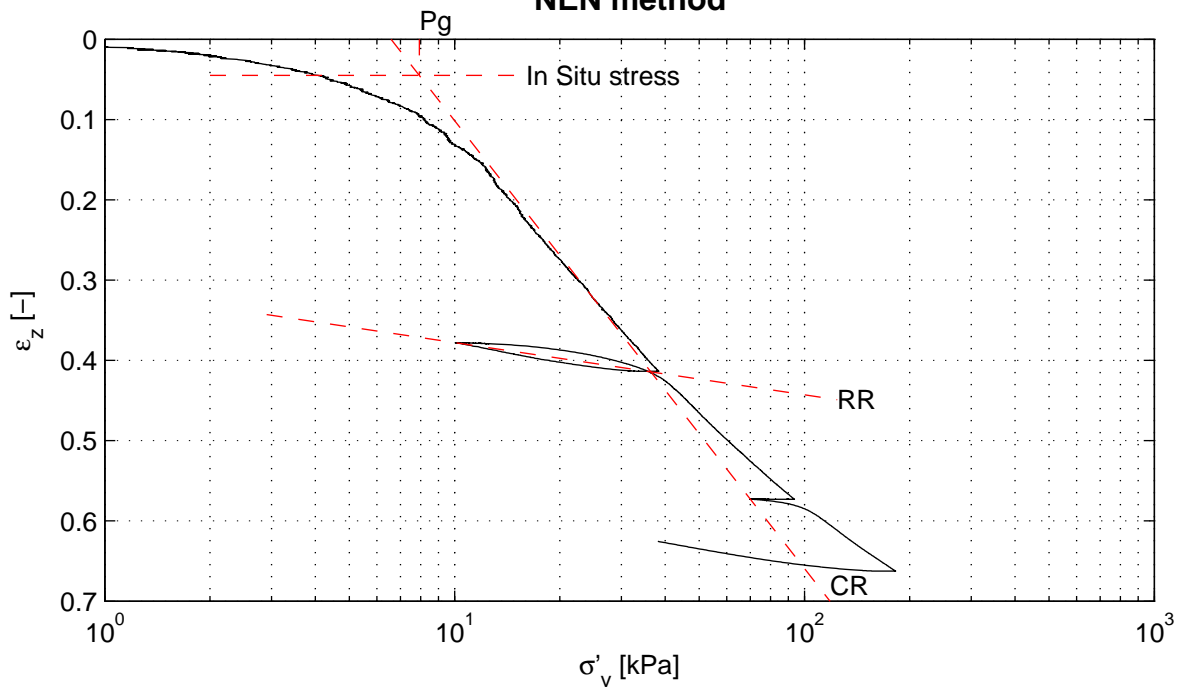
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS4C

page  
1

### NEN method

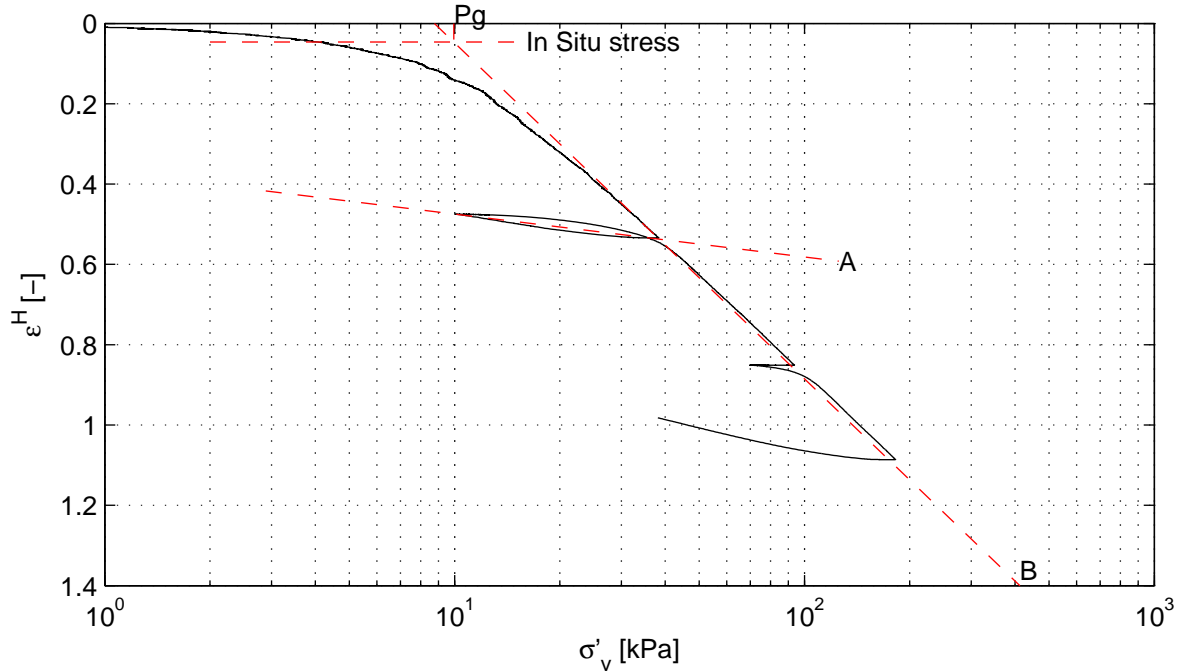


RR = 6.5e-002  
CR = 5.6e-001

$C_\alpha = 3.7e-002$

Pg = 7.9 kPa

### Isotachen method



A = 4.6e-002  
B = 3.6e-001

C = 2.4e-002

Pg = 10.0 kPa

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2012-05-08

signed  
Ess

GI-9.3 Lange termijn metingen terp Weesp: Proefterpen project Bloemendalerpolder  
Boring B30, sample 4C, depth: -5.01 m to -5.06 m NAP

project  
1202415.20

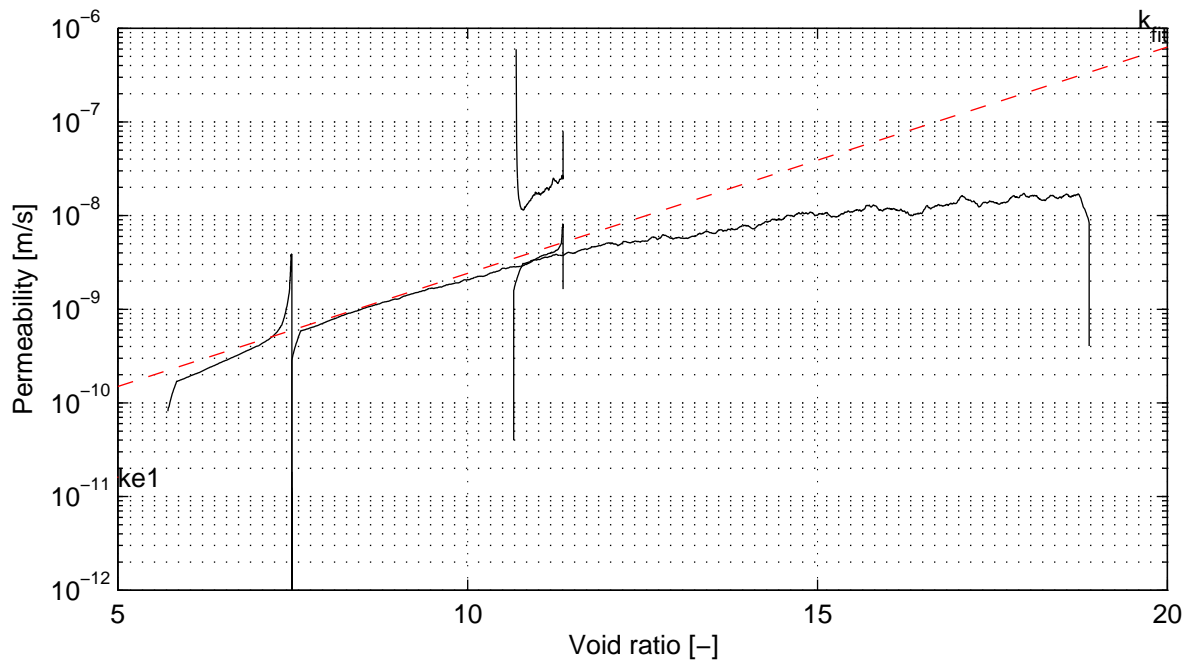
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS4C

page  
2

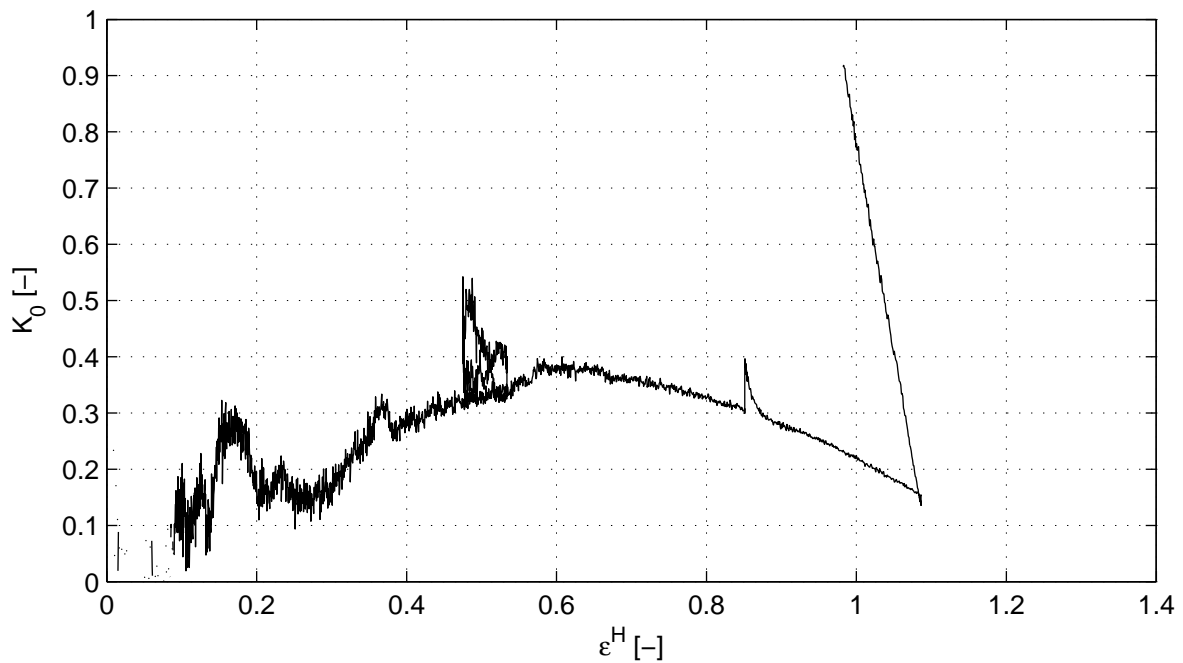
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-24 09:21



$k_{e1} = 1.6e-011 \text{ m/s}$

$k_{e0} = 3.4e-007 \text{ m/s}$

slope =  $2.42e-001$



$v = 0.30$

$K_{0c} = 0.37$

$K_{0e} = 0.17$

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: [www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)  
Telefax +31 (0)15 261 0821

date  
2012-05-08

signed  
Ess

GI-9.3 Lange termijn metingen terp Weesp: Proefterpen project Bloemendalerpolder  
Boring B30, sample 4C, depth: -5.01 m to -5.06 m NAP

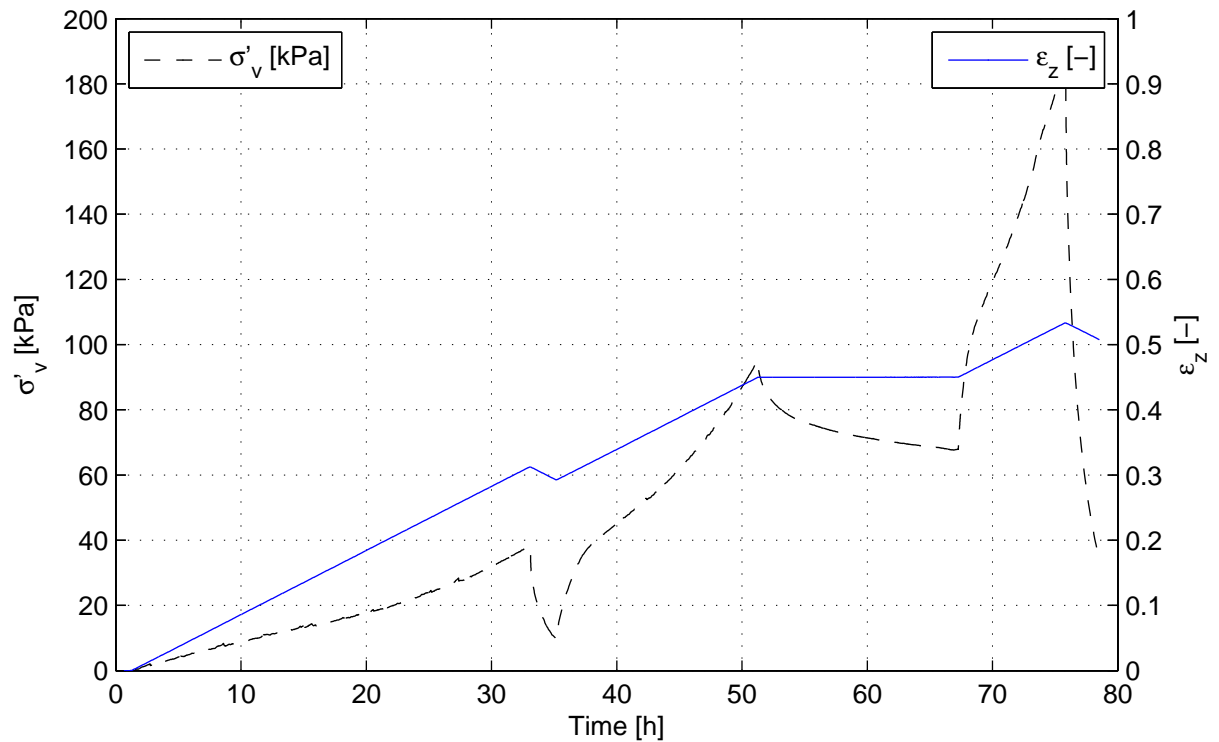
project  
1202415.20

seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS4C

page  
3



**Description of soil sample:**

Soil description (NEN 5104)	Veen, mineraalarm
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	10.8
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	2.2
Water content [%]	392.9
Water content final [%]	144.1
Initial saturation [%]	1.02 (S)
Void ratio – initial [-]	6.27 (e)
Sample disturbance index [%]	4.1, moderate quality
S and e calculated with assumed $\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ] of	16.0

**Test overview (test plan):**

Stress loading phase [kPa]	40
Stress unloading phase [kPa]	10
Stress reloading phase [kPa]	100
Stress relaxation phase [kPa]	100
Maximum stress [kPa]	200

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2012-05-11

signed  
ess

GI-9.3 Lange termijn metingen terp Weesp: Proefterpen project Bloemendalerpolder  
Boring B30, sample 6D, depth: -7.01 m to -7.06 m NAP

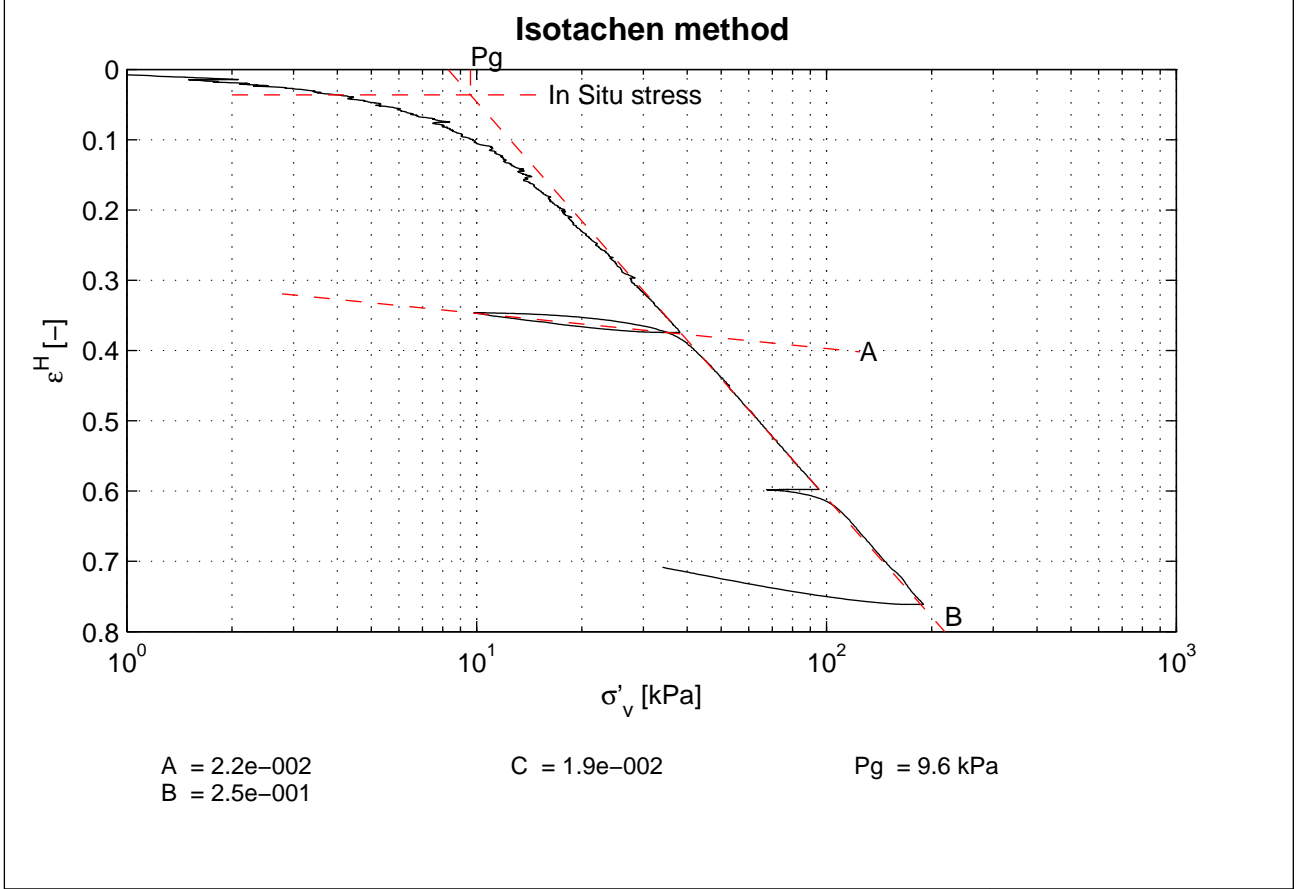
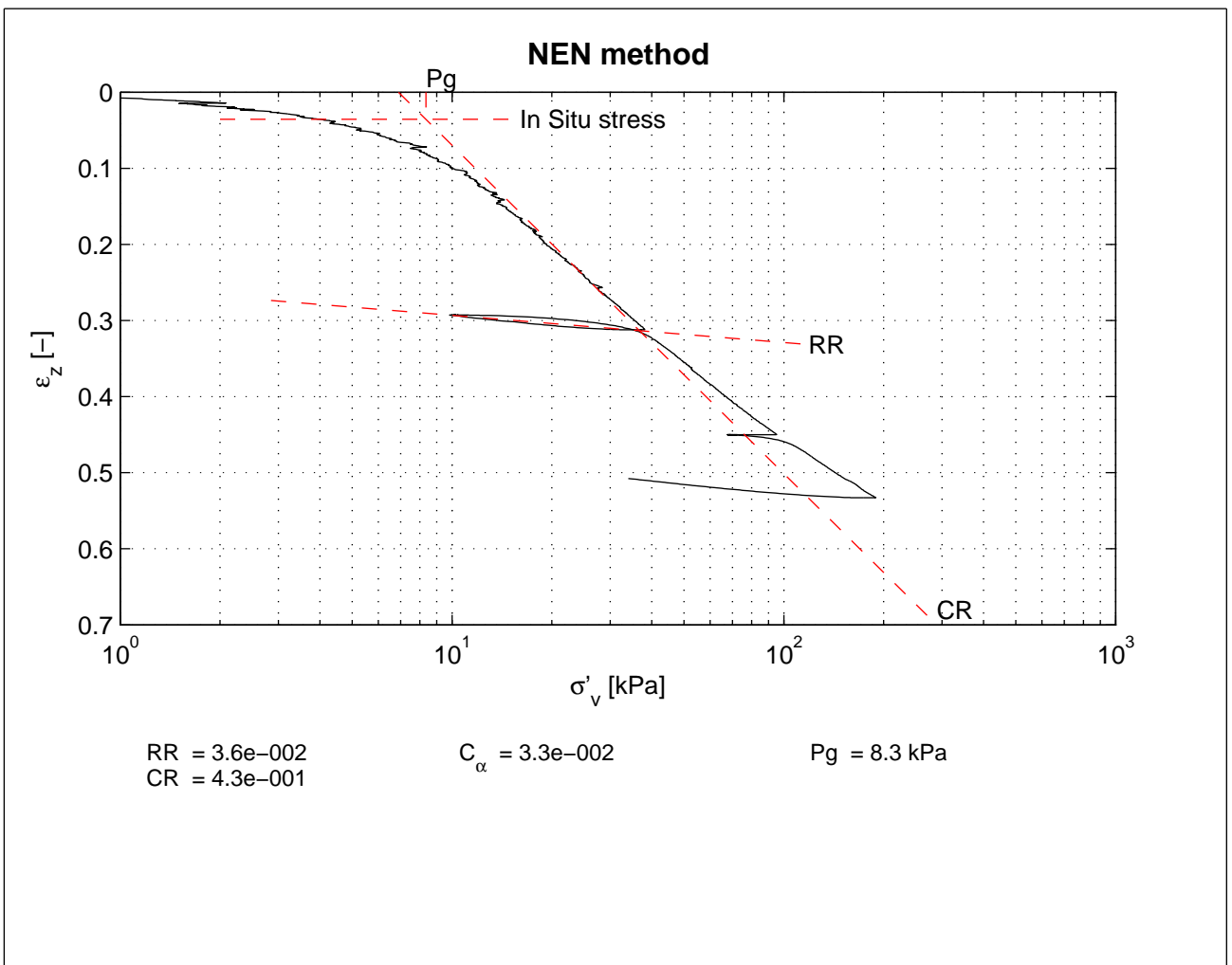
project  
1202415.20

seen  
-

**K0-CRS measurement**

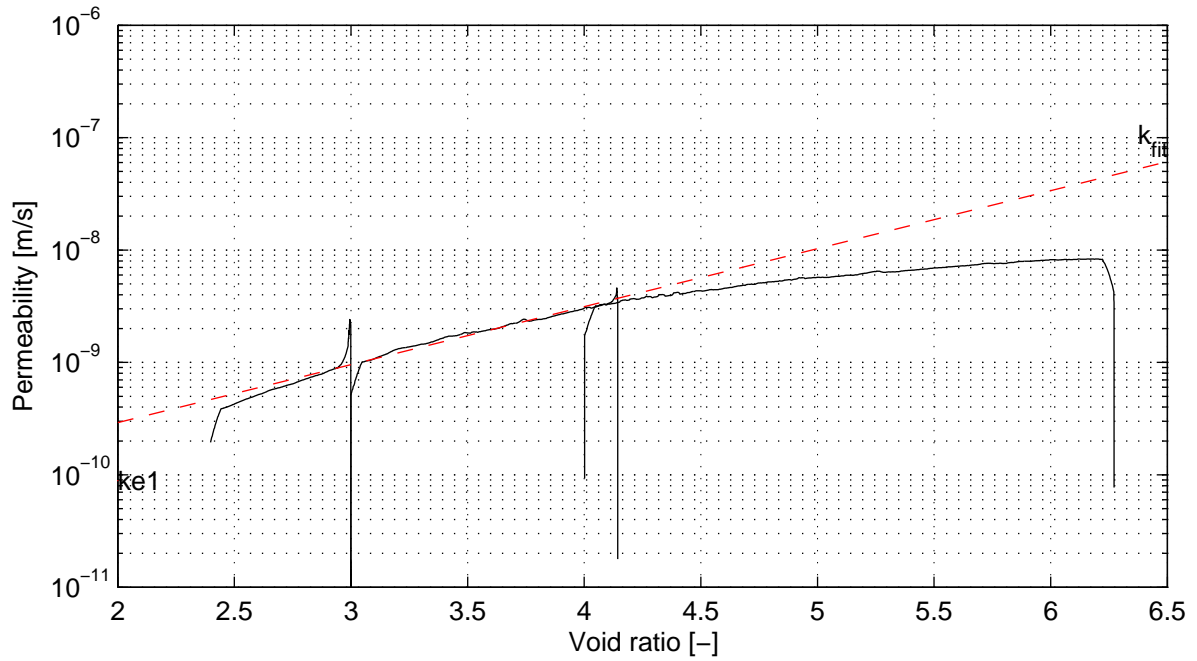
appendix  
CRS6D

page  
1



	PO Box 177, NL 2600 MH Delft      Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: <a href="http://www.deltares.nl">www.deltares.nl</a> Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft      Telefax +31 (0)15 261 0821	date <b>2012-05-11</b>	signed <b>ess</b>
	GI-9.3 Lange termijn metingen terp Weesp: Proefterpen project Bloemendalerpolder Boring B30, sample 6D, depth: -7.01 m to -7.06 m NAP	project <b>1202415.20</b>	seen -
<b>K0-CRS measurement</b>	appendix <b>CRS6D</b>	page <b>2</b>	

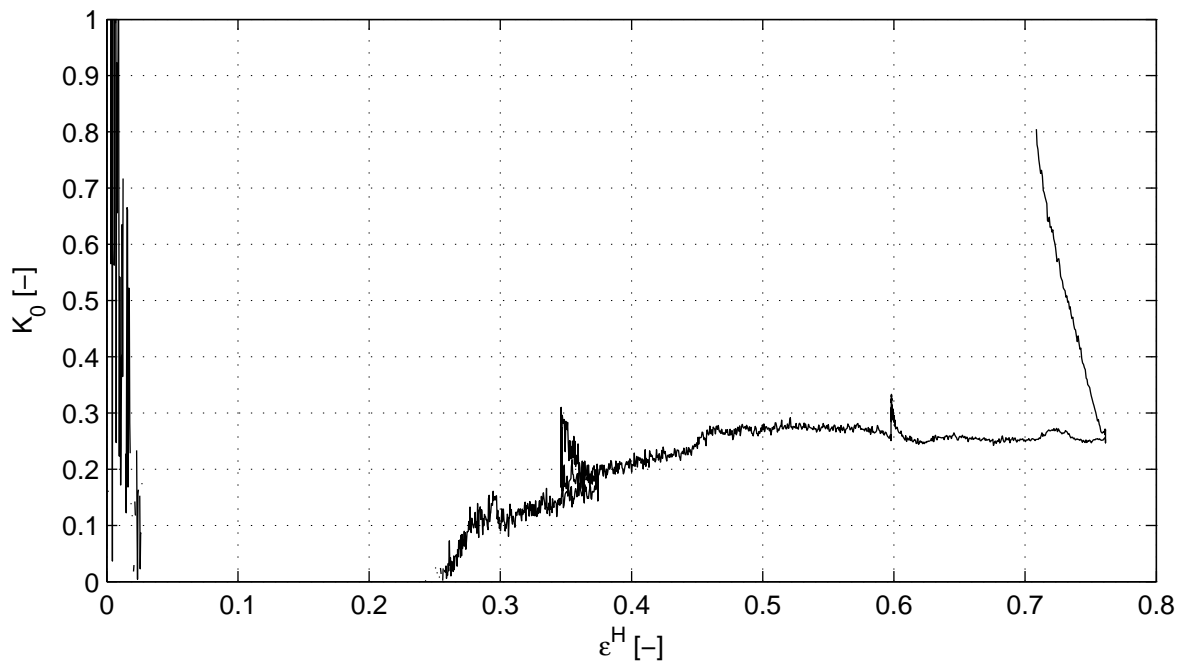
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-24 09:23



$k_{e1} = 8.9e-011$  m/s

$k_{e0} = 4.7e-008$  m/s

slope =  $5.16e-001$



$v = 0.14$

$K_{0c} = 0.27$

$K_{0e} = 0.25$

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: [www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)  
Telefax +31 (0)15 261 0821

date  
2012-05-11

signed  
ess

GI-9.3 Lange termijn metingen terp Weesp: Proefterpen project Bloemendalerpolder  
Boring B30, sample 6D, depth: -7.01 m to -7.06 m NAP

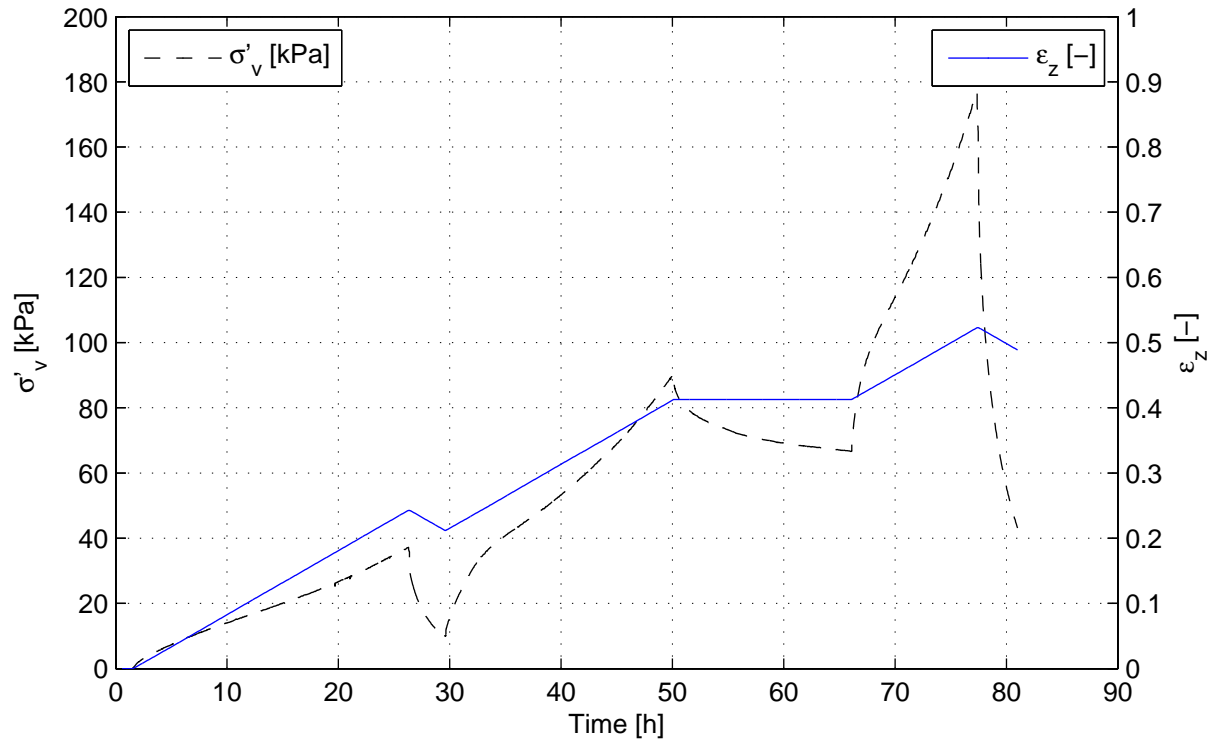
project  
1202415.20

seen  
-

**K0-CRS measurement**

appendix  
CRS6D

page  
3



**Description of soil sample:**

Soil description (NEN 5104)	Veen, mineraalarm
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	10.2
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	1.3
Water content [%]	667.5
Water content final [%]	324.1
Initial saturation [%]	0.99 (S)
Void ratio – initial [-]	11.01 (e)
Sample disturbance index [%]	1.5, good quality
S and e calculated with assumed $\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ] of	16.0

**Test overview (test plan):**

Stress loading phase [kPa]	40
Stress unloading phase [kPa]	10
Stress reloading phase [kPa]	100
Stress relaxation phase [kPa]	100
Maximum stress [kPa]	200

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2012-05-24

signed  
grw

GI-9.3 Lange termijn metingen terp Weesp: Proefterpen project Bloemendalerpolder  
Boring B30, sample 2C, depth: -3.06 m to -3.11 m NAP

project  
1202415.20

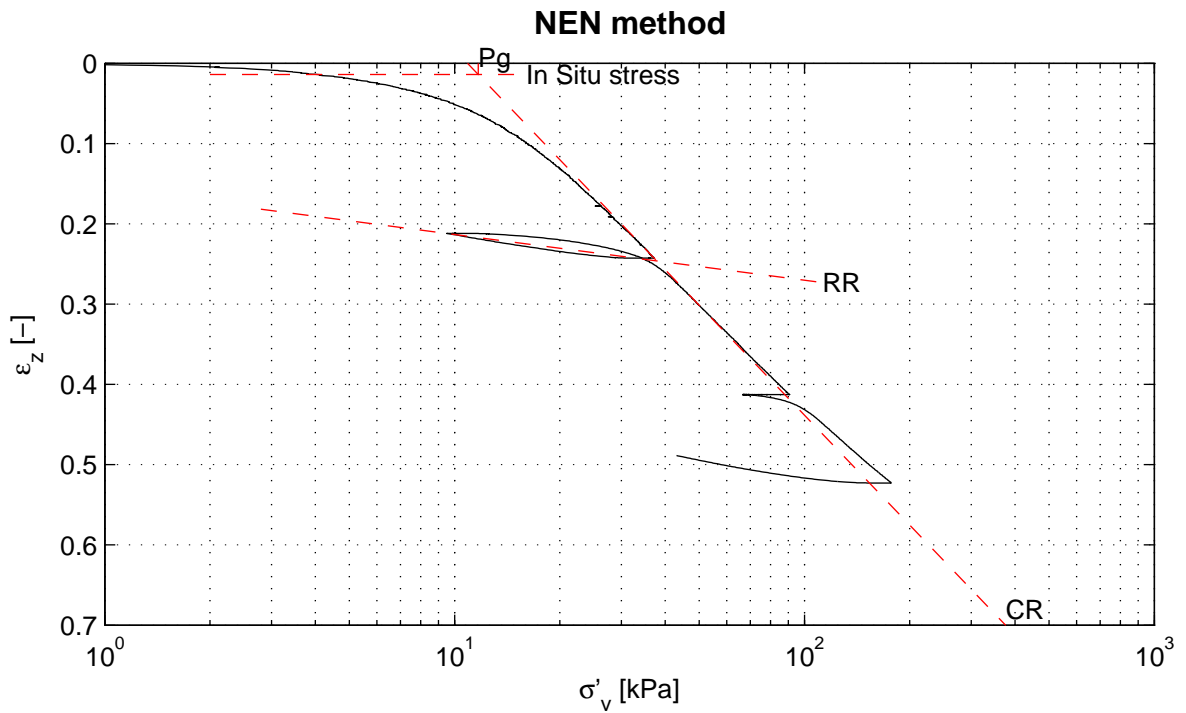
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS2C

page  
1

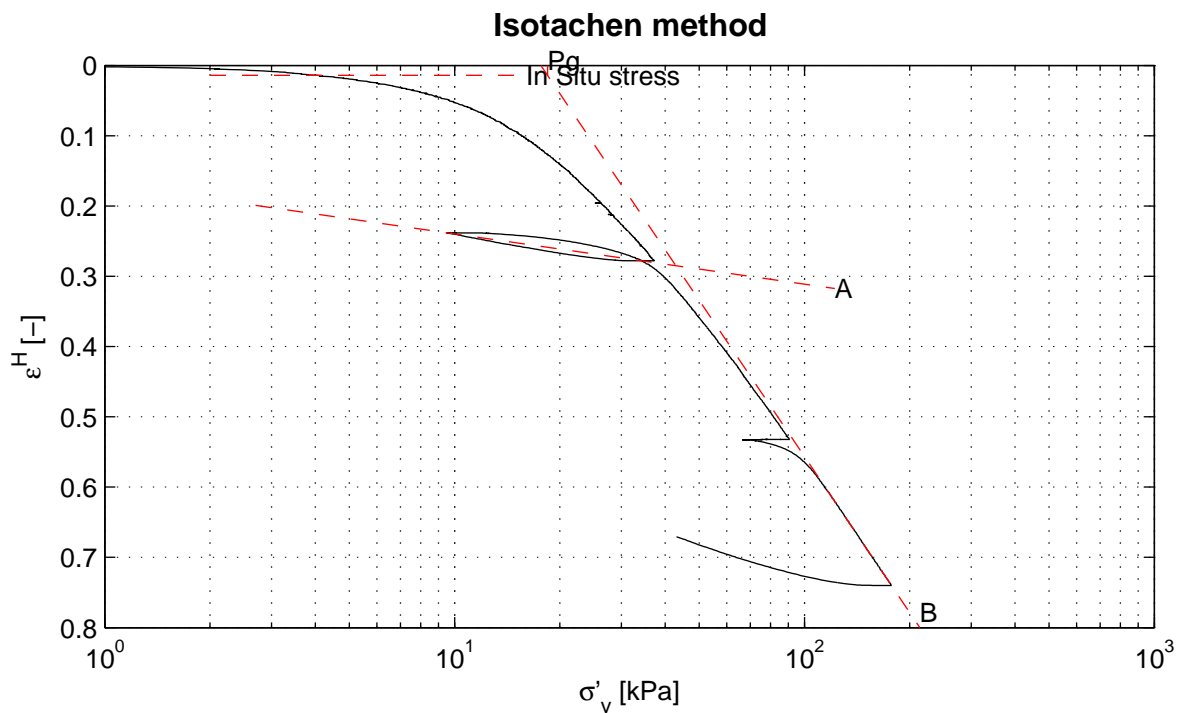




RR = 5.5e-002  
CR = 4.6e-001

$C_\alpha = 3.1e-002$

$P_g = 11.7$  kPa



A = 3.1e-002  
B = 3.2e-001

C = 2.2e-002

$P_g = 18.4$  kPa

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2012-05-24

signed  
grw

GI-9.3 Lange termijn metingen terp Weesp: Proefterpen project Bloemendalerpolder  
Boring B30, sample 2C, depth: -3.06 m to -3.11 m NAP

project  
1202415.20

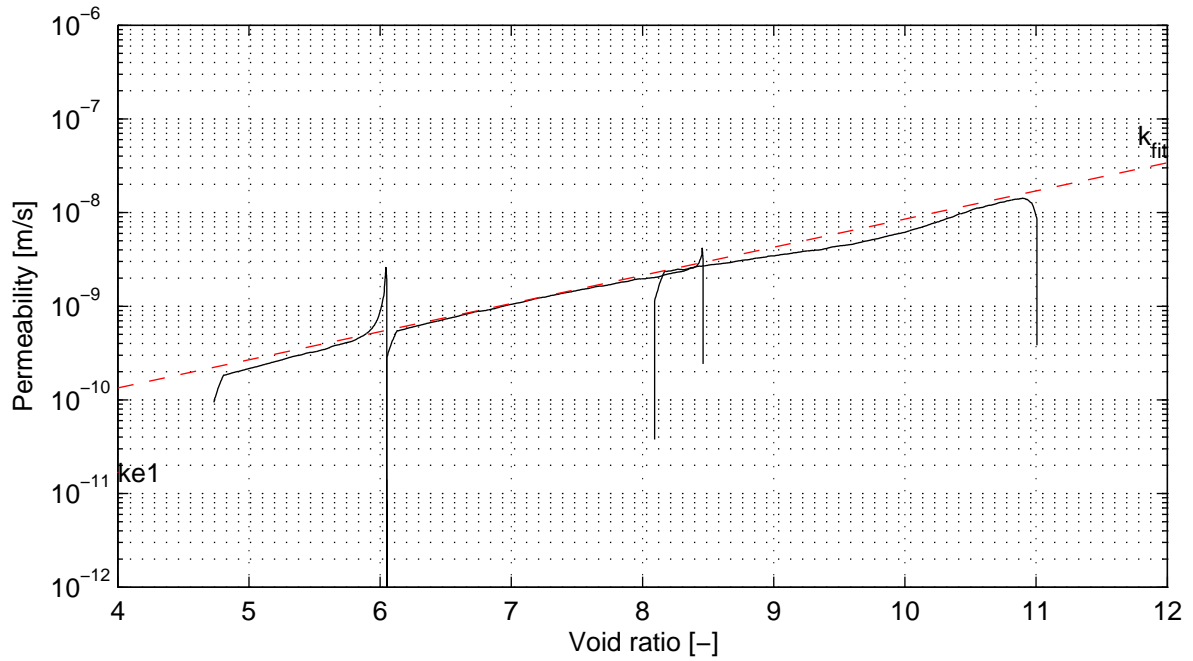
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS2C

page  
2

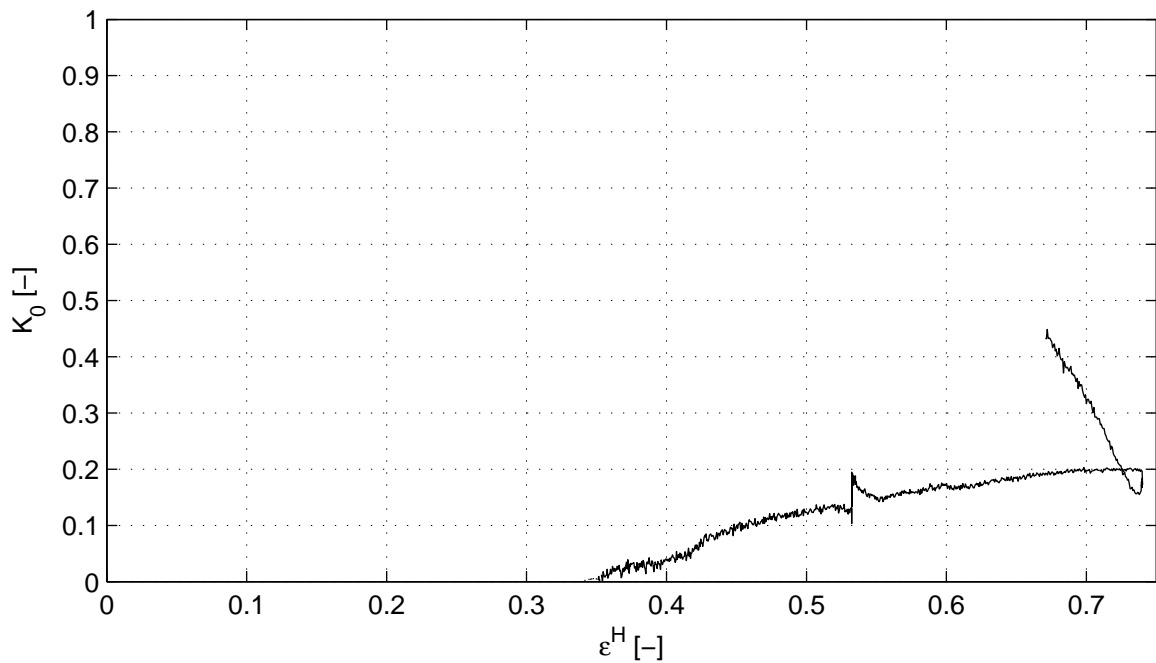
\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-24 14:31



$k_{e1} = 1.7e-011 \text{ m/s}$

$k_{e0} = 1.7e-008 \text{ m/s}$

slope =  $3.01e-001$



$v = 0.21$

$K_{0c} = 0.13$

$K_{0e} = 0.20$

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: [www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)  
Telefax +31 (0)15 261 0821

date  
2012-05-24

signed  
grw

GI-9.3 Lange termijn metingen terp Weesp: Proefterpen project Bloemendalerpolder  
Boring B30, sample 2C, depth: -3.06 m to -3.11 m NAP

project  
1202415.20

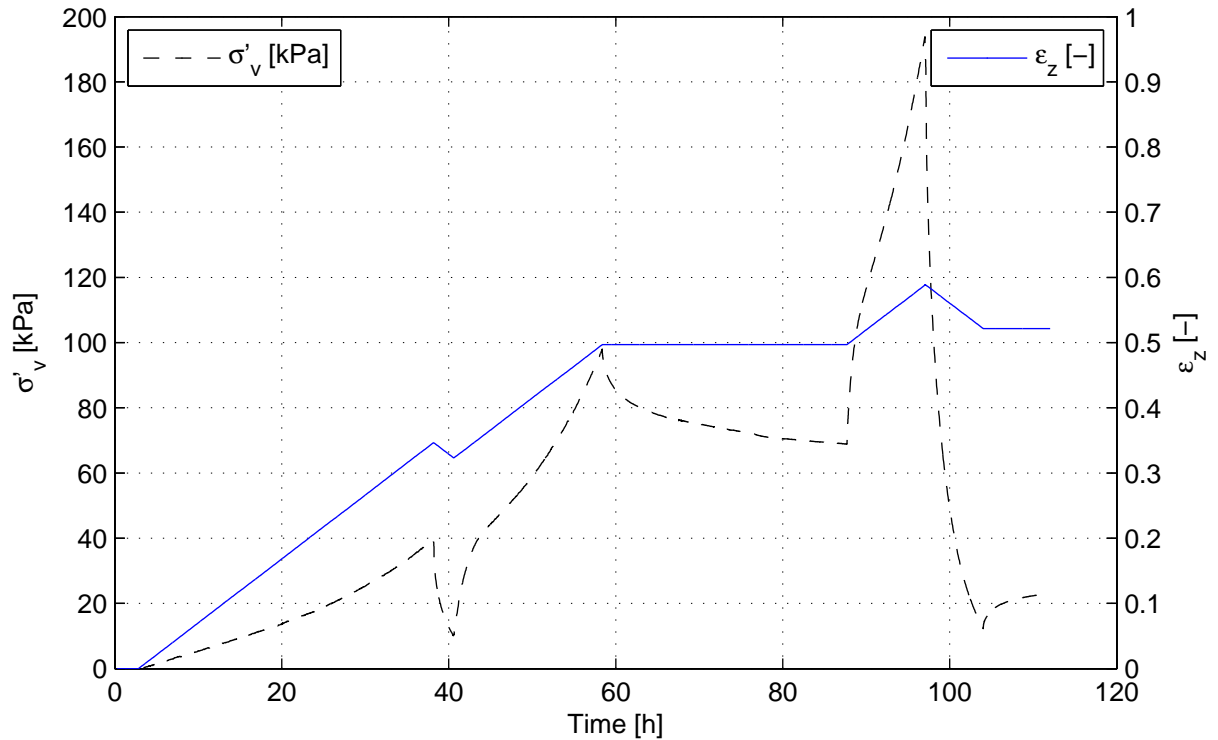
seen  
-

**K0-CRS measurement**

appendix  
CRS2C

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-24 14:31



#### Description of soil sample:

Soil description (NEN 5104)	Veen, mineraalarm
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	10.0
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	1.1
Water content [%]	795.3
Water content final [%]	395.6
Initial saturation [%]	0.98 (S)
Void ratio – initial [-]	13.05 (e)
Sample disturbance index [%]	5.7, moderate quality
S and e calculated with assumed $\gamma_s$ [kN/3] of	15.7

#### Test overview (test plan):

Stress loading phase [kPa]	40
Stress unloading phase [kPa]	10
Stress reloading phase [kPa]	100
Stress relaxation phase [kPa]	100
Maximum stress [kPa]	200

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT2, sample 11B, depth: -6.30 m till -6.40 m NAP

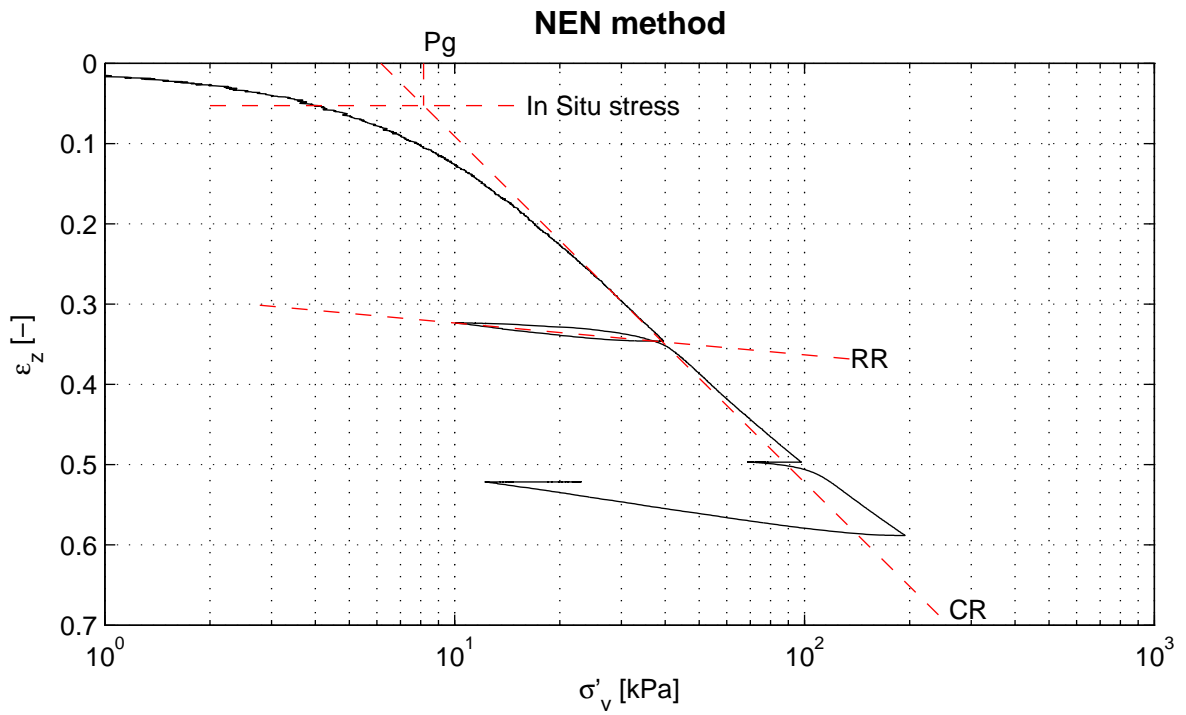
project  
1202989.0

seen  
-

K0-CRS measurement

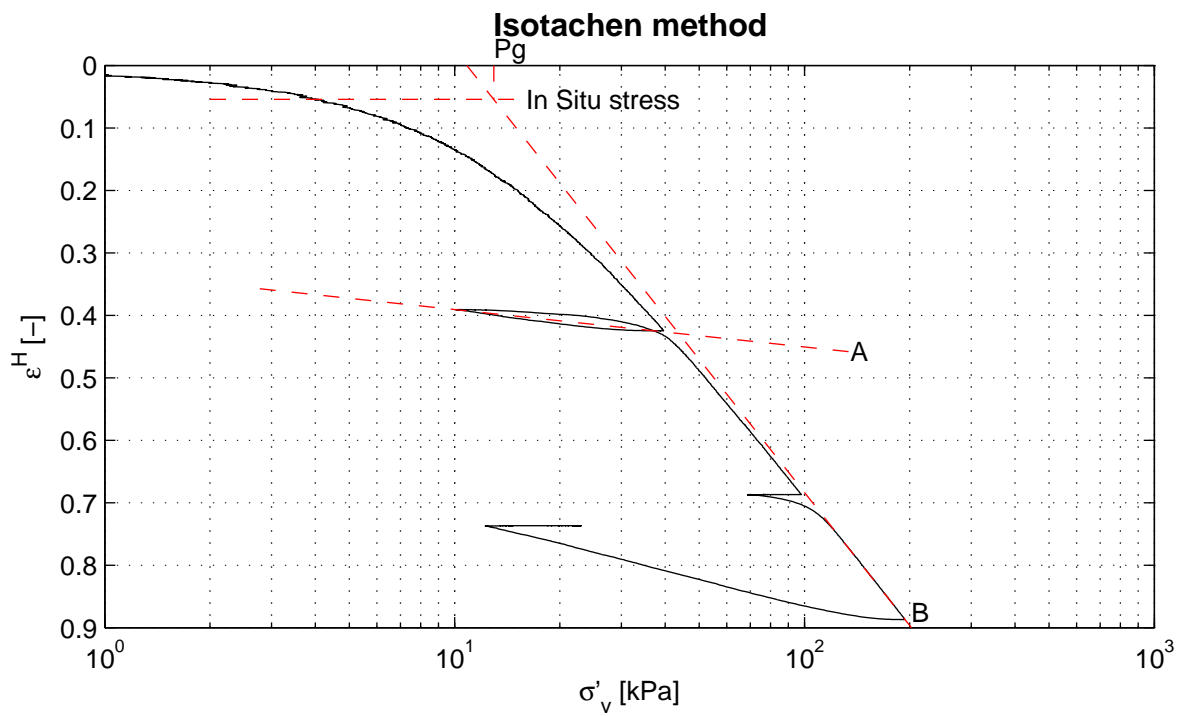
appendix  
CRS11B

page  
1



RR = 3.98e-002  
CR = 4.31e-001

Pg = 8.2 kPa



A = 2.60e-002  
B = 3.08e-001

C = 2.46e-002

Pg = 12.9 kPa

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT2, sample 11B, depth: -6.30 m till -6.40 m NAP

project  
1202989.0

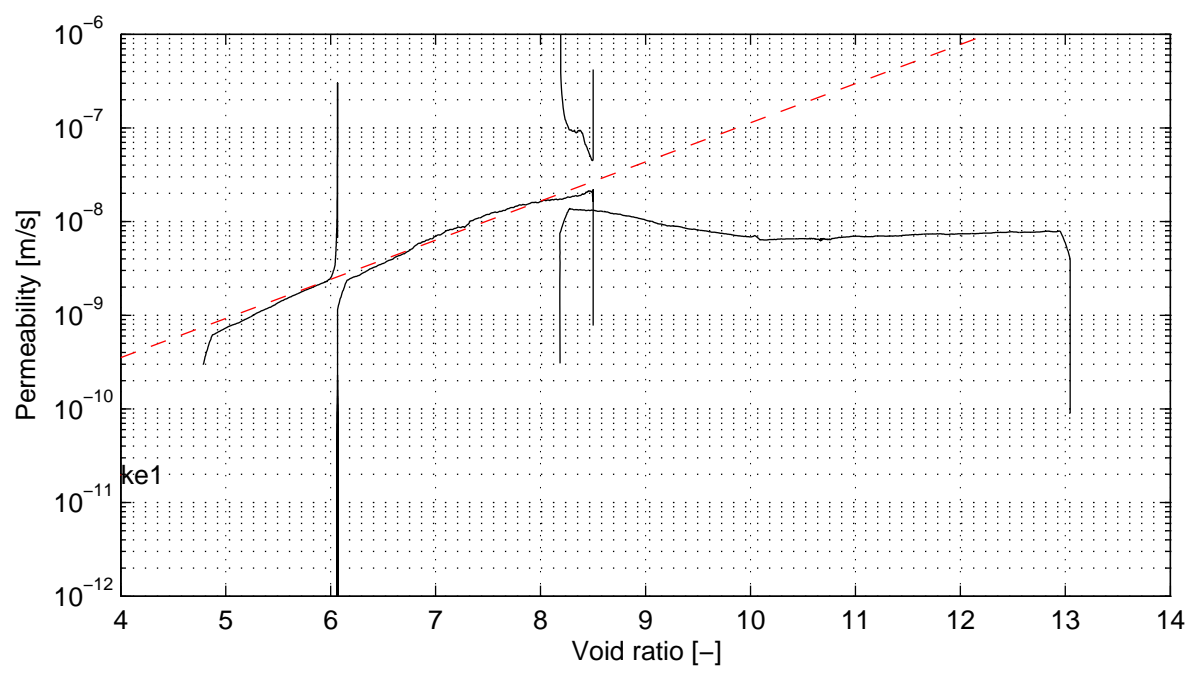
seen  
-

K0-CRS measurement

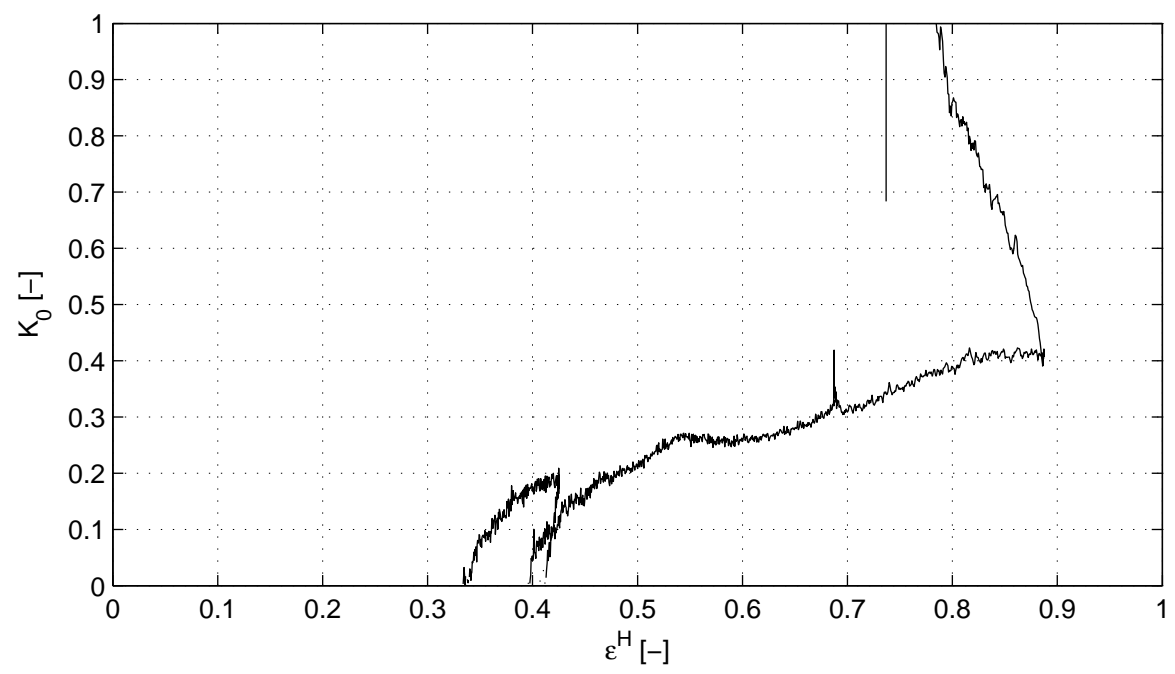
appendix  
CRS11B

page  
2

\*) Vrijgegeven door Grw op 2011-05-12 10:09



$k_{e1} = 2.0e-011 \text{ m/s}$       slope = 4.18e-001



$v = 0.33$        $K_{0c} = 0.27$        $K_{0e} = 0.41$



PO Box 177, NL 2600 MH Delft      Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft      Telefax +31 (0)15 261 0821      www.deltares.nl

date	signed
2011-05-11	Ess

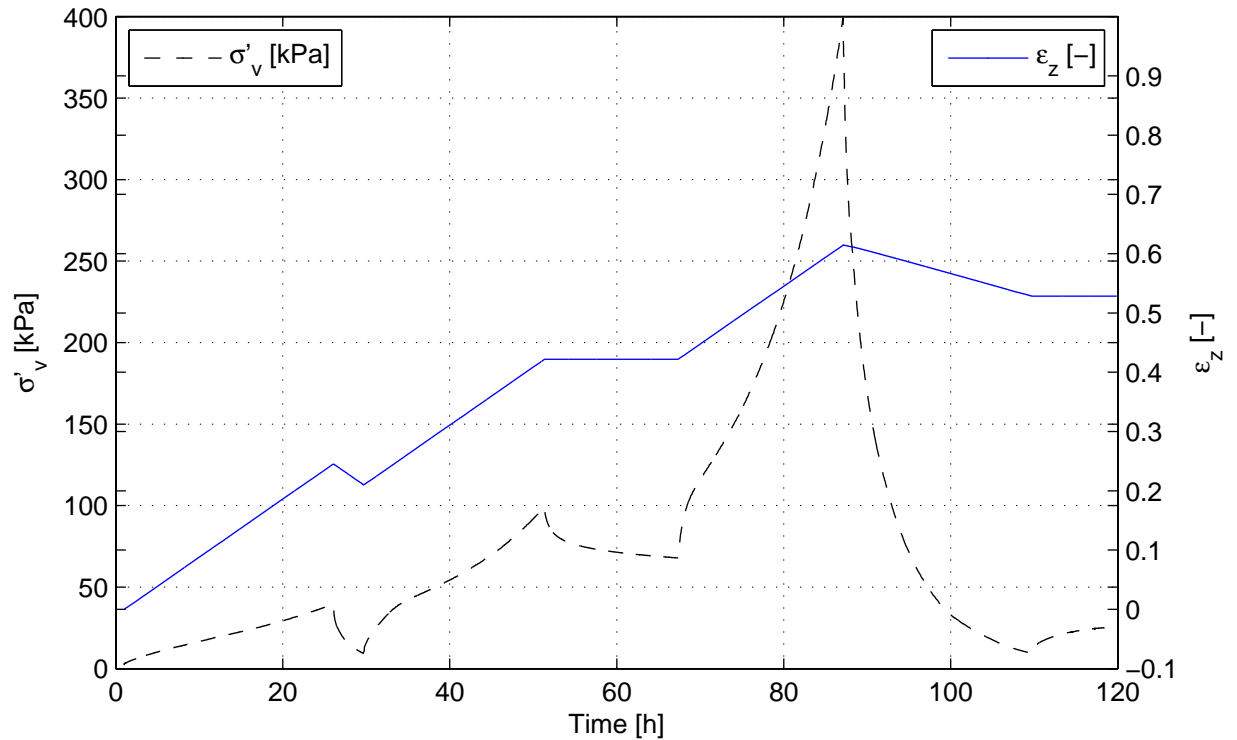
K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
 Boring BT2, sample 11B, depth: -6.30 m till -6.40 m NAP

project	seen
1202989.0	-

K0-CRS measurement

appendix	page
CRS11B	3

\*) Vrijgegeven door Grw op 2011-05-12 10:09



#### Description of soil sample:

Soil description (NEN 5104)	Veen, mineraalarm
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	10.1
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	1.4
Water content [%]	609.8
Water content final [%]	271.3
Initial saturation [%]	0.98 (S)
Void ratio – initial [-]	10.01 (e)
Sample disturbance index [%]	0.4, good quality
S and e calculated with assumed $\gamma_s$ [kN/3] of	15.7

#### Test overview (test plan):

Stress loading phase [kPa]	40
Stress unloading phase [kPa]	10
Stress reloading phase [kPa]	100
Stress relaxation phase [kPa]	100
Maximum stress [kPa]	400

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT2, sample 8B, depth: -2.60 m till -2.70 m NAP

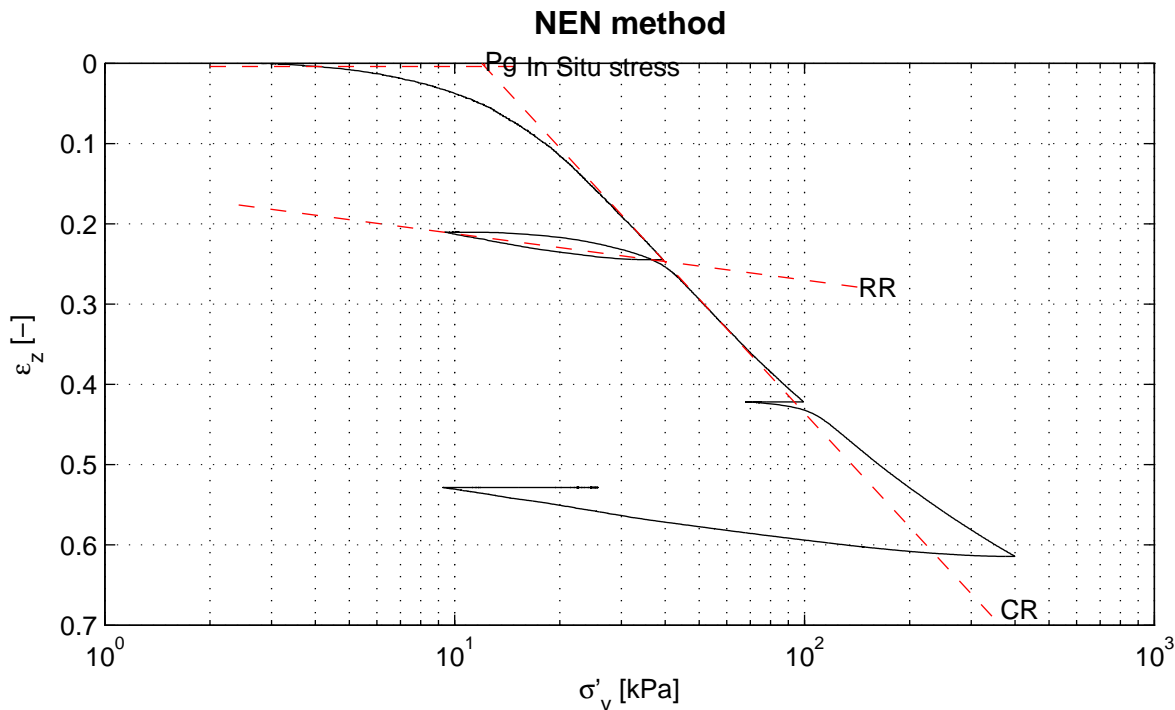
project  
1202989.0

seen  
-

K0-CRS measurement

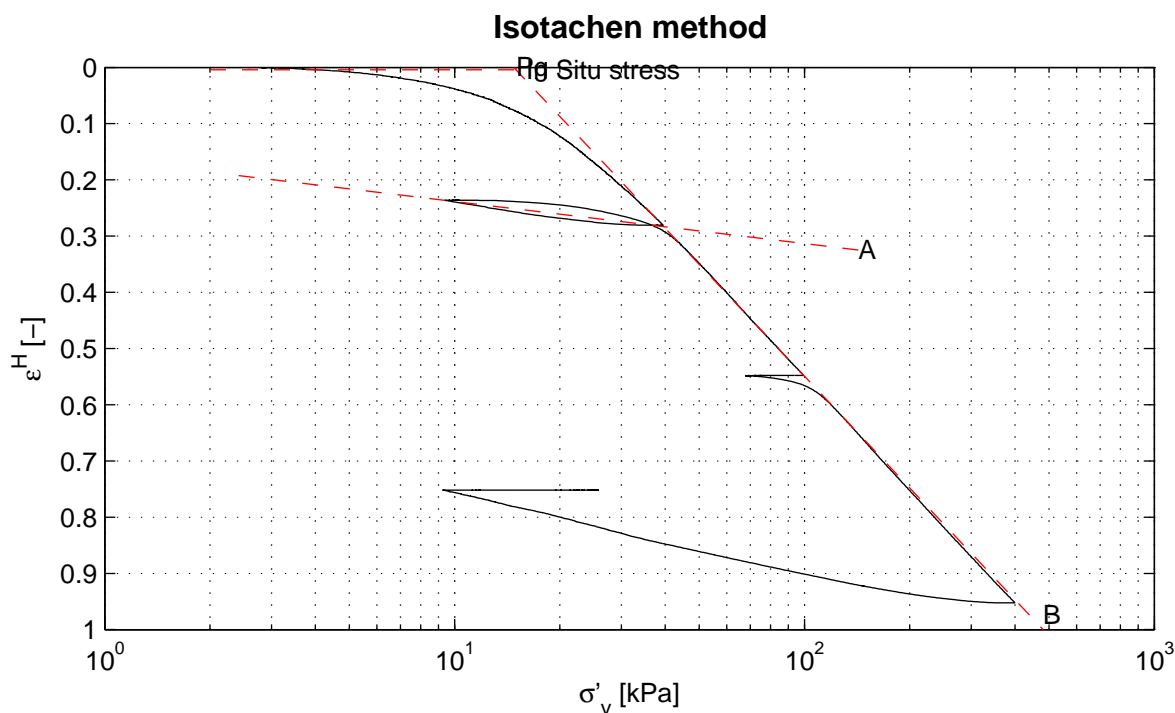
appendix  
CRS8B

page  
1



RR = 5.78e-002  
CR = 4.72e-001

Pg = 12.2 kPa



A = 3.25e-002  
B = 2.87e-001

C = 2.25e-002

Pg = 15.0 kPa

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT2, sample 8B, depth: -2.60 m till -2.70 m NAP

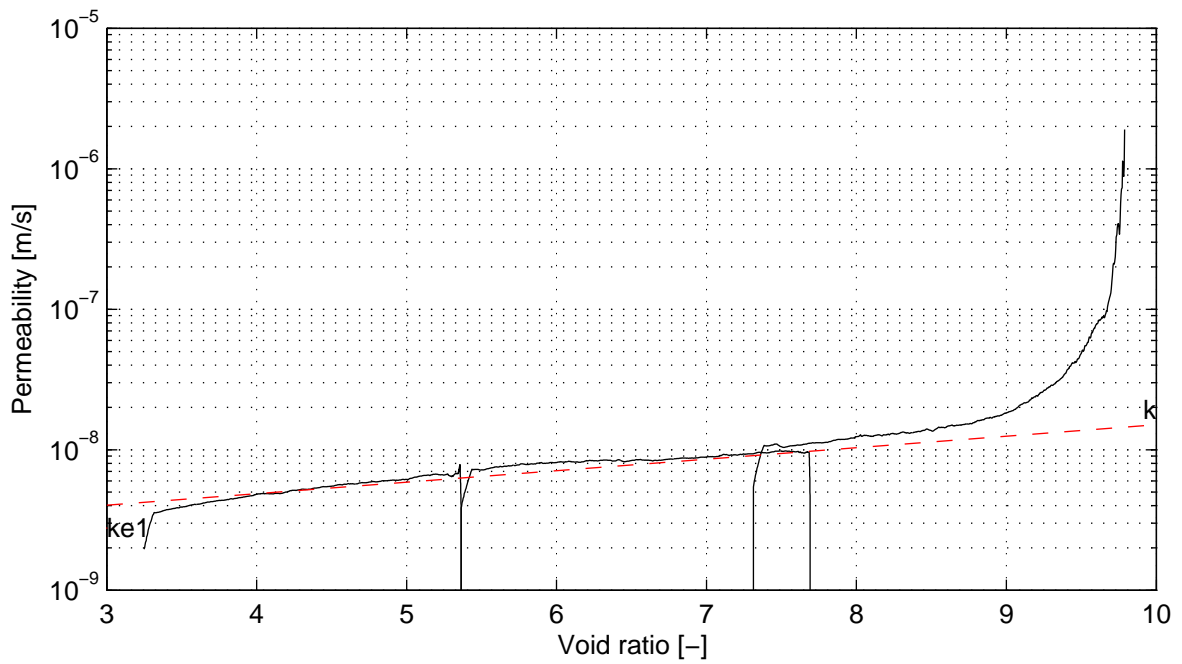
project  
1202989.0

seen  
-

K0-CRS measurement

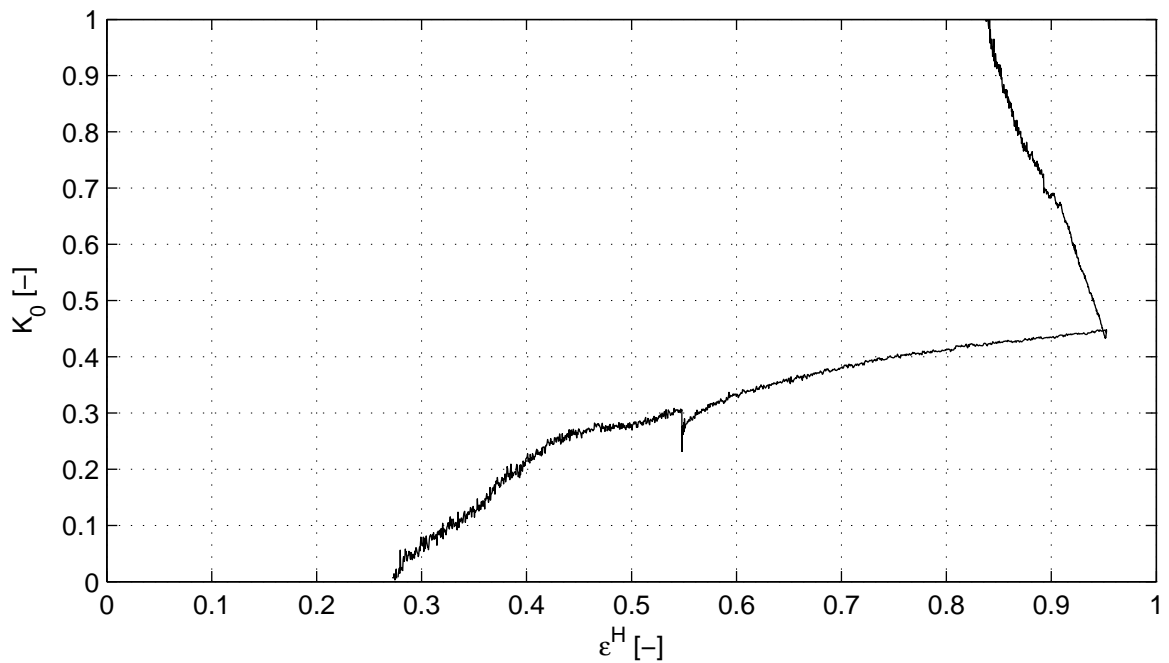
appendix  
CRS8B

page  
2



$k_{e1} = 2.8e-009$  m/s

slope =  $8.18e-002$



$v = 0.18$

$K_{0c} = 0.27$

$K_{0e} = 0.44$

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT2, sample 8B, depth: -2.60 m till -2.70 m NAP

project  
1202989.0

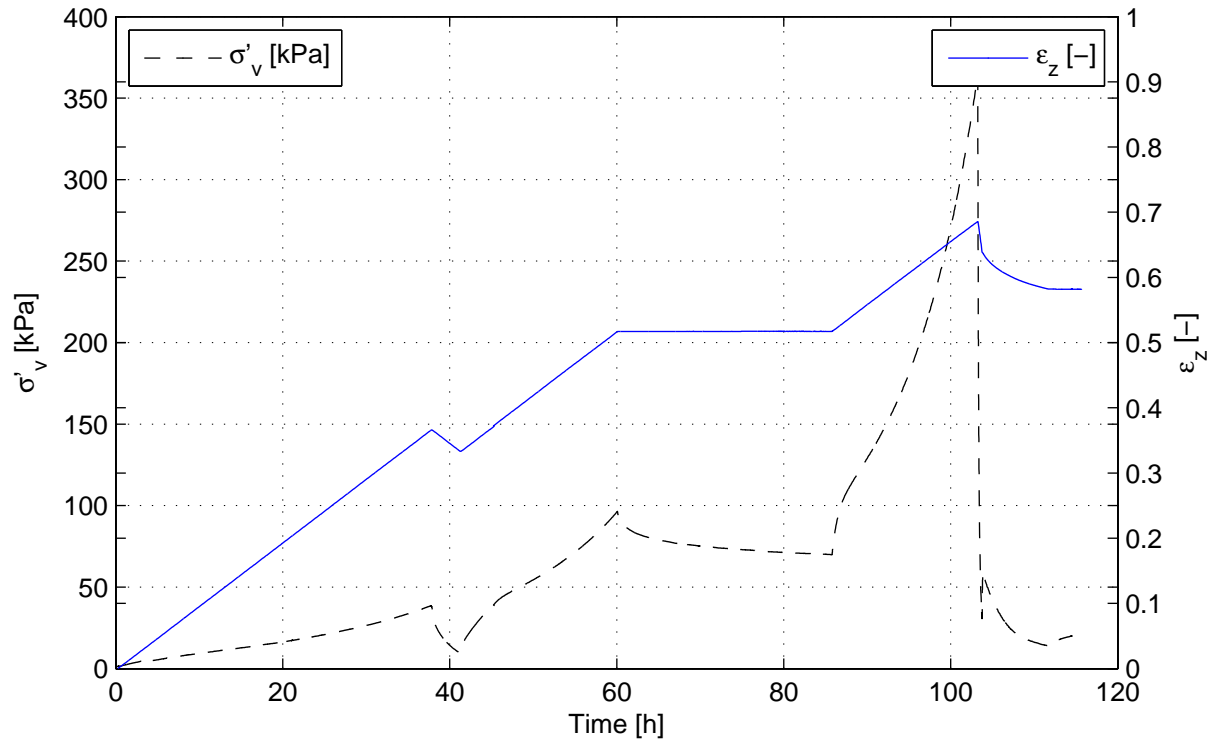
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS8B

page  
3





**Description of soil sample:**

Soil description (NEN 5104)	Veen, mineraalarm
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	9.9
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	0.9
Water content [%]	971.5
Water content final [%]	400.6
Initial saturation [%]	0.97 (S)
Void ratio – initial [-]	15.96 (e)
Sample disturbance index [%]	2.4, good quality
S and e calculated with assumed $\gamma_s$ [kN/3] of	15.7

**Test overview (test plan):**

Stress loading phase [kPa]	39
Stress unloading phase [kPa]	10
Stress reloading phase [kPa]	99
Stress relaxation phase [kPa]	99
Maximum stress [kPa]	400

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT1, sample 3D, depth: -4.30 m till -4.40 m NAP

project  
1202989.0

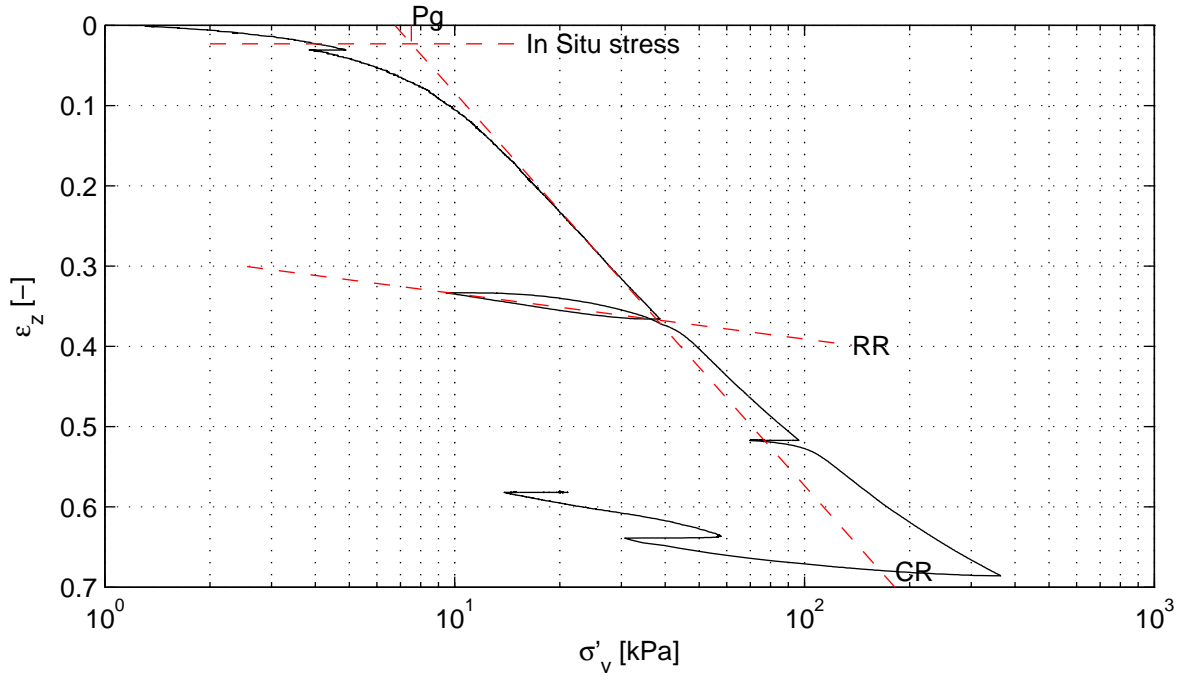
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS3D

page  
1

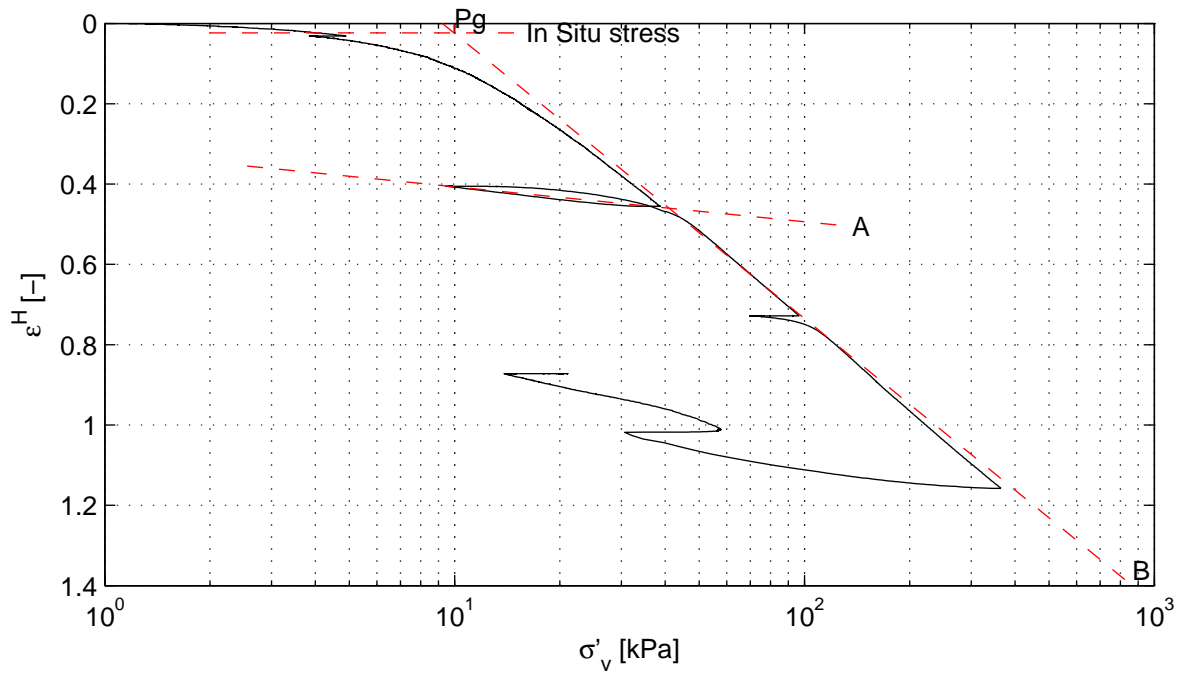
### NEN method



RR = 5.67e-002  
CR = 4.90e-001

Pg = 7.5 kPa

### Isotachen method



A = 3.78e-002  
B = 3.08e-001

C = 2.51e-002

Pg = 10.0 kPa

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT1, sample 3D, depth: -4.30 m till -4.40 m NAP

project  
1202989.0

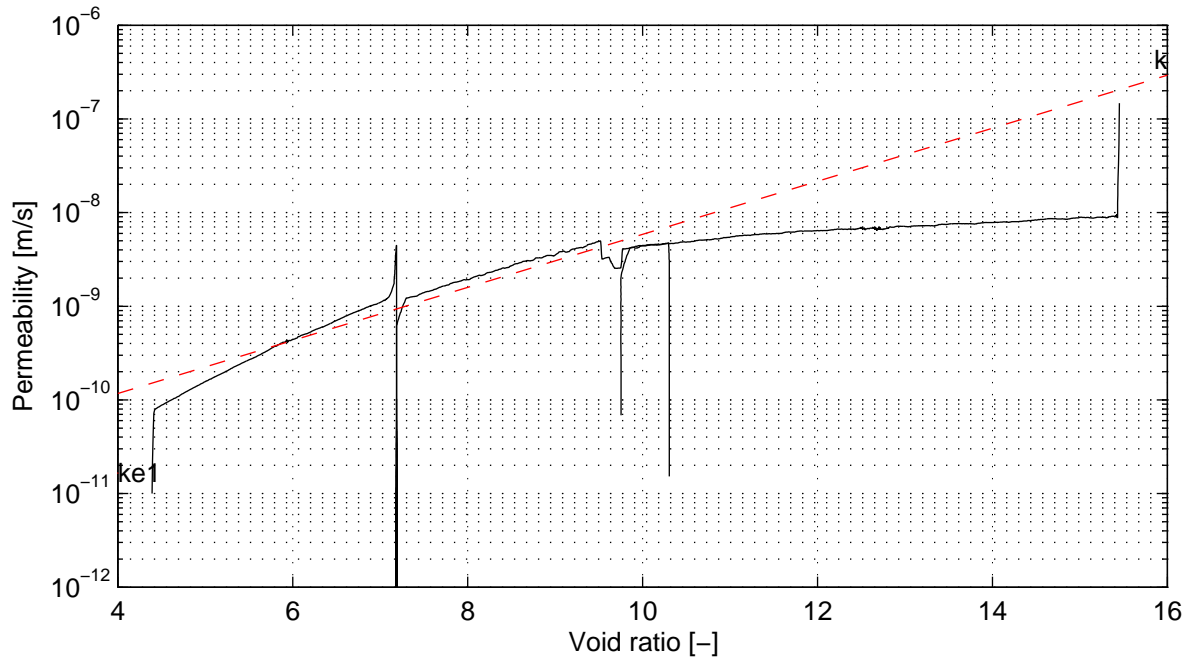
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS3D

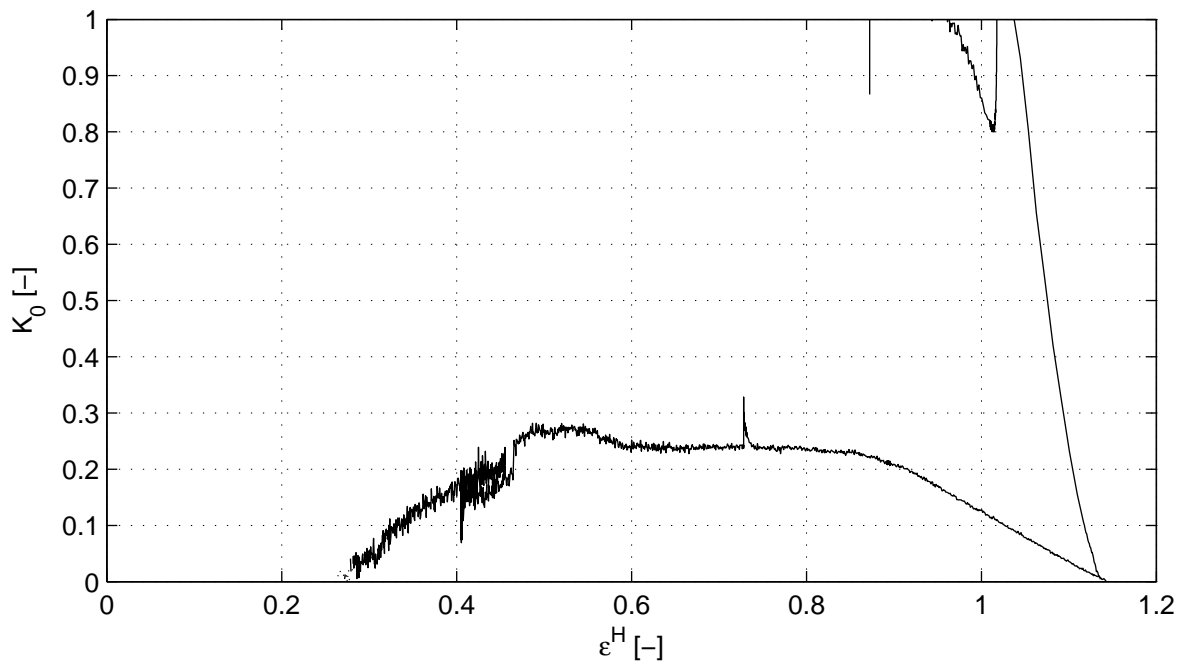
page  
2

\*) Vrijgegeven door Grw op 2011-05-12 10:10



$k_{e1} = 1.7e-011 \text{ m/s}$

slope =  $2.83e-001$



$v = 0.23$

$K_{0c} = 0.24$

$K_{0e} = \text{NaN}$

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT1, sample 3D, depth: -4.30 m till -4.40 m NAP

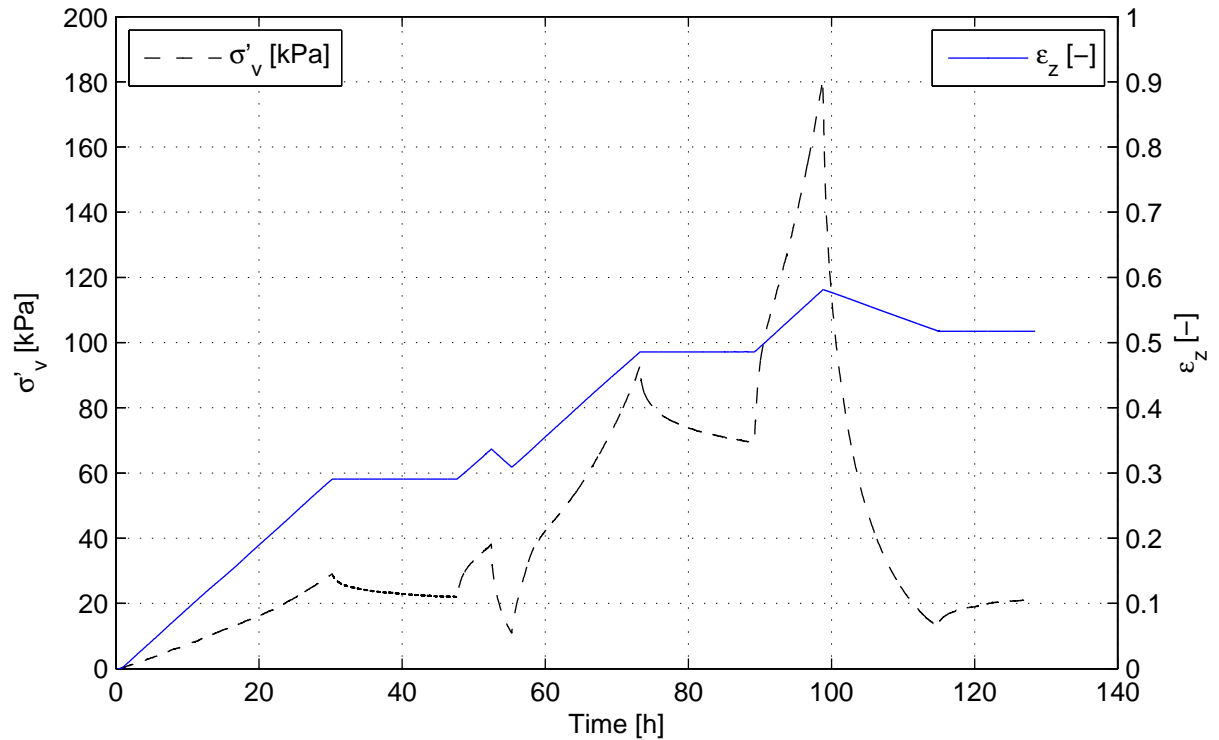
project  
1202989.0

seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS3D

page  
3



**Description of soil sample:**

Soil description (NEN 5104)	Veen, mineraalarm
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	9.9
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	1.0
Water content [%]	932.0
Water content final [%]	405.6
Initial saturation [%]	0.97 (S)
Void ratio – initial [-]	15.36 (e)
Sample disturbance index [%]	5.4, moderate quality
S and e calculated with assumed $\gamma_s$ [kN/3] of	15.7

**Test overview (test plan):**

Stress loading phase [kPa]	40
Stress unloading phase [kPa]	10
Stress reloading phase [kPa]	100
Stress relaxation phase [kPa]	100
Maximum stress [kPa]	200

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT2, sample 12B, depth: -6.85 m till -6.95 m NAP

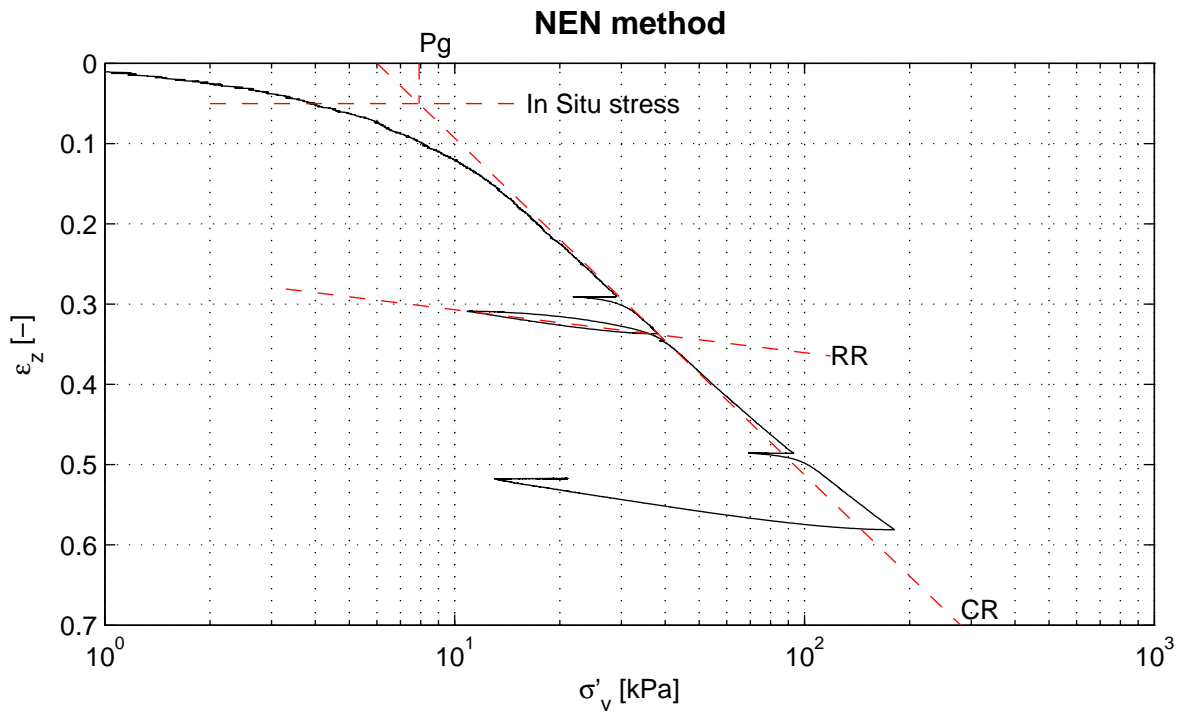
project  
1202989.0

seen  
-

K0-CRS measurement

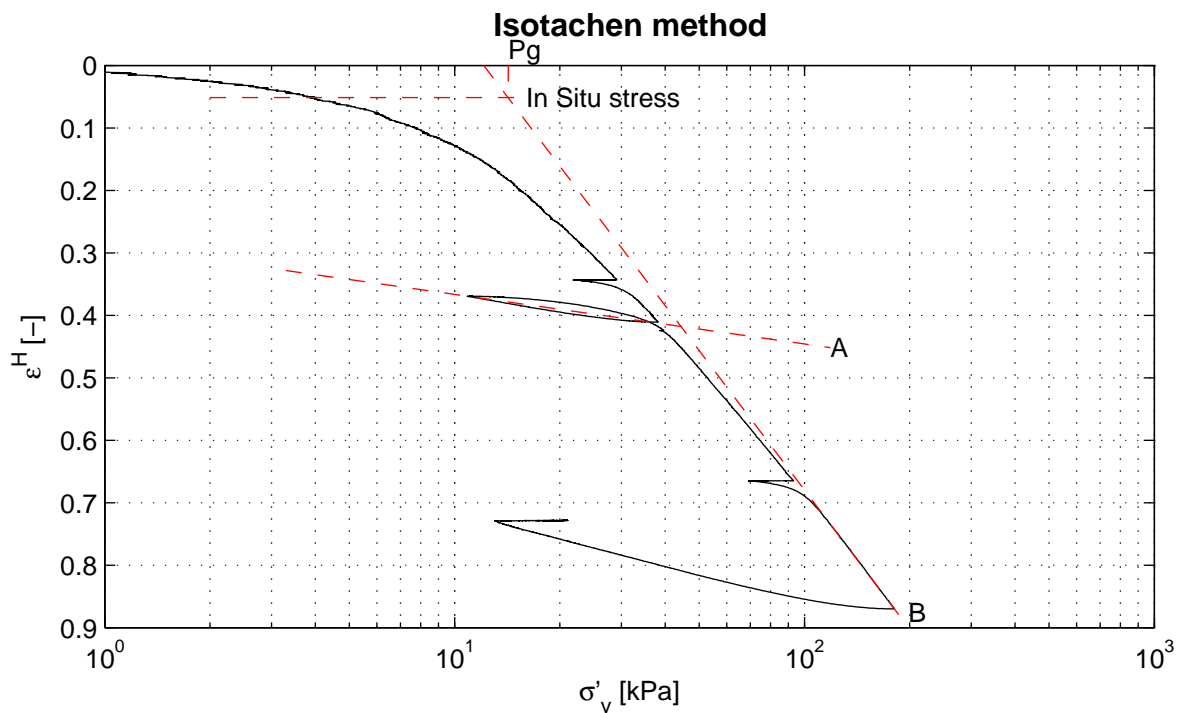
appendix  
CRS12B

page  
1



RR = 5.36e-002  
CR = 4.20e-001

Pg = 7.9 kPa



A = 3.44e-002  
B = 3.22e-001

C = 2.08e-002

Pg = 14.2 kPa

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT2, sample 12B, depth: -6.85 m till -6.95 m NAP

project  
1202989.0

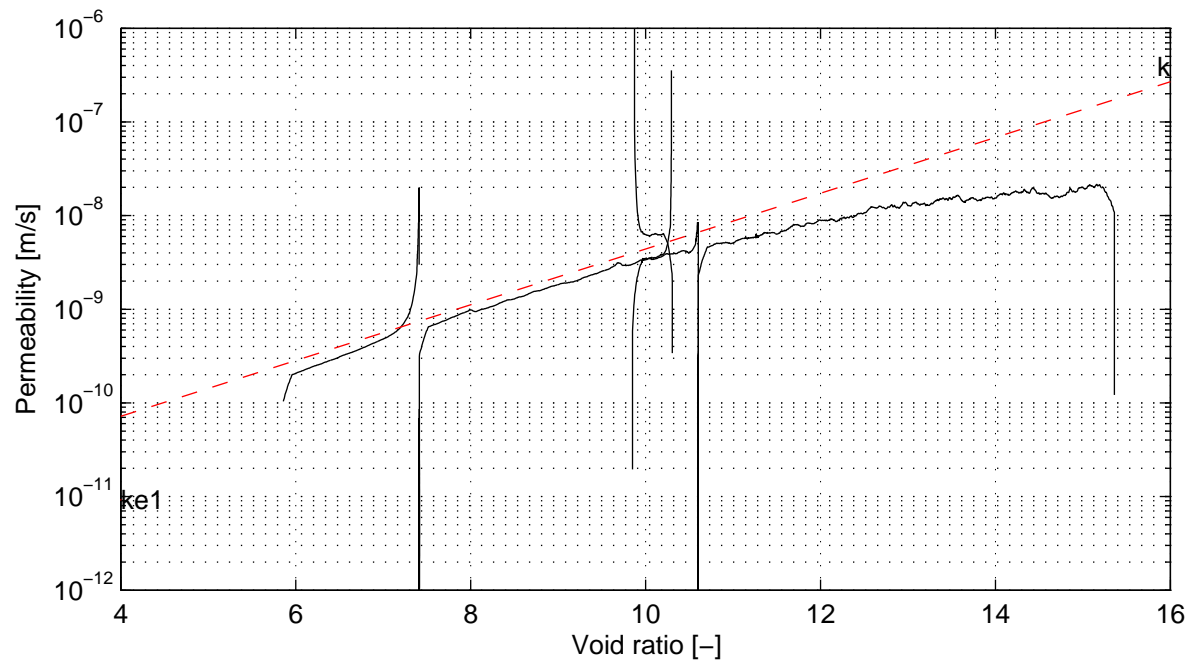
seen  
-

K0-CRS measurement

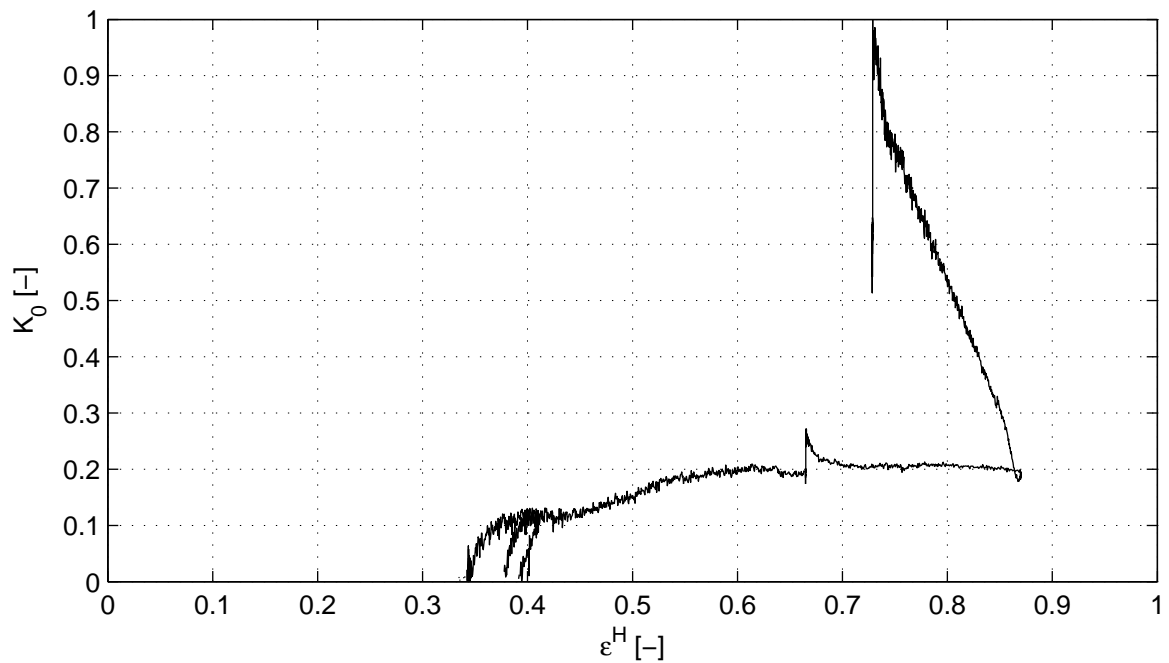
appendix  
CRS12B

page  
2

\*) Vrijgegeven door Grw op 2011-05-12 10:10



$k_{e1} = 9.2e-012$  m/s      slope =  $2.98e-001$



$v = 0.23$

$K_{0c} = 0.20$

$K_{0e} = 0.20$

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: [www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)  
Telefax +31 (0)15 261 0821

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT2, sample 12B, depth: -6.85 m till -6.95 m NAP

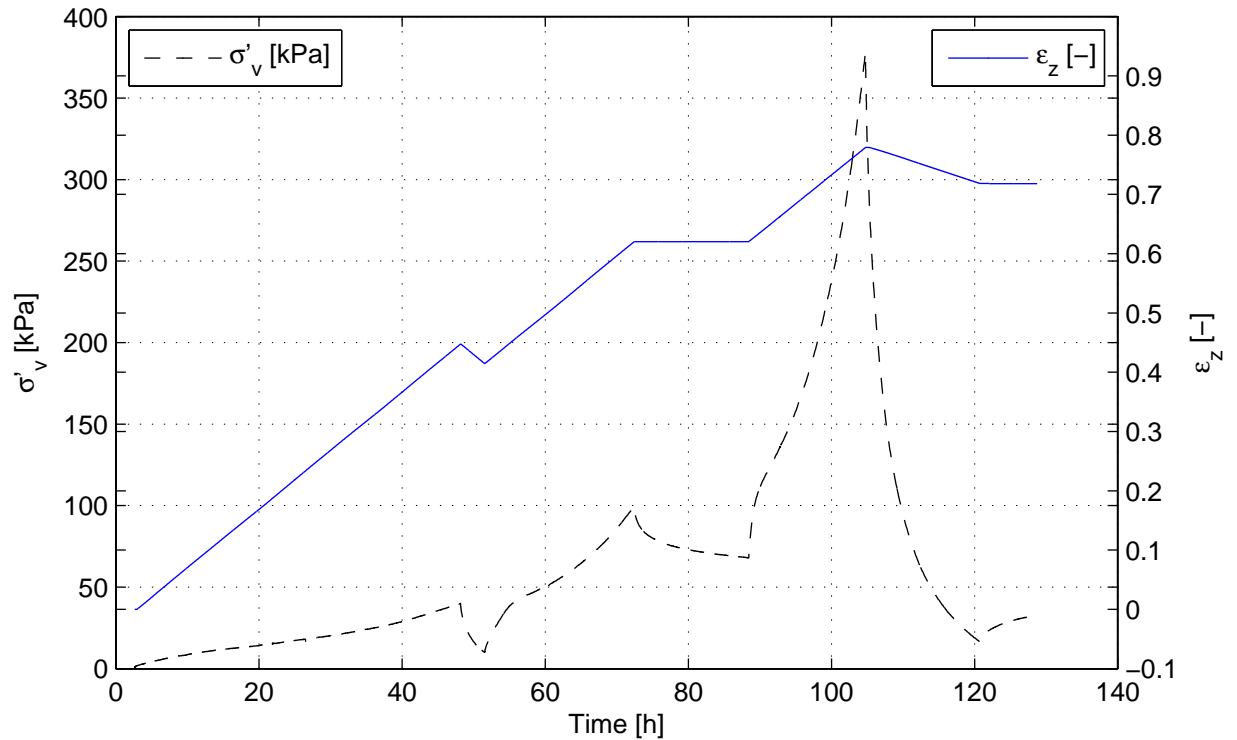
project  
1202989.0

seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS12B

page  
3



#### Description of soil sample:

Soil description (NEN 5104)	Veen, mineraalarm
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	9.6
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	0.7
Water content [%]	1258.6
Water content final [%]	342.7
Initial saturation [%]	0.95 (S)
Void ratio – initial [-]	21.23 (e)
Sample disturbance index [%]	1.9, good quality
S and e calculated with assumed $\gamma_s$ [kN/3] of	15.7

#### Test overview (test plan):

Stress loading phase [kPa]	40
Stress unloading phase [kPa]	10
Stress reloading phase [kPa]	100
Stress relaxation phase [kPa]	100
Maximum stress [kPa]	400

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT1, sample 4D, depth: -5.30 m till -5.40 m NAP

project  
1202989.0

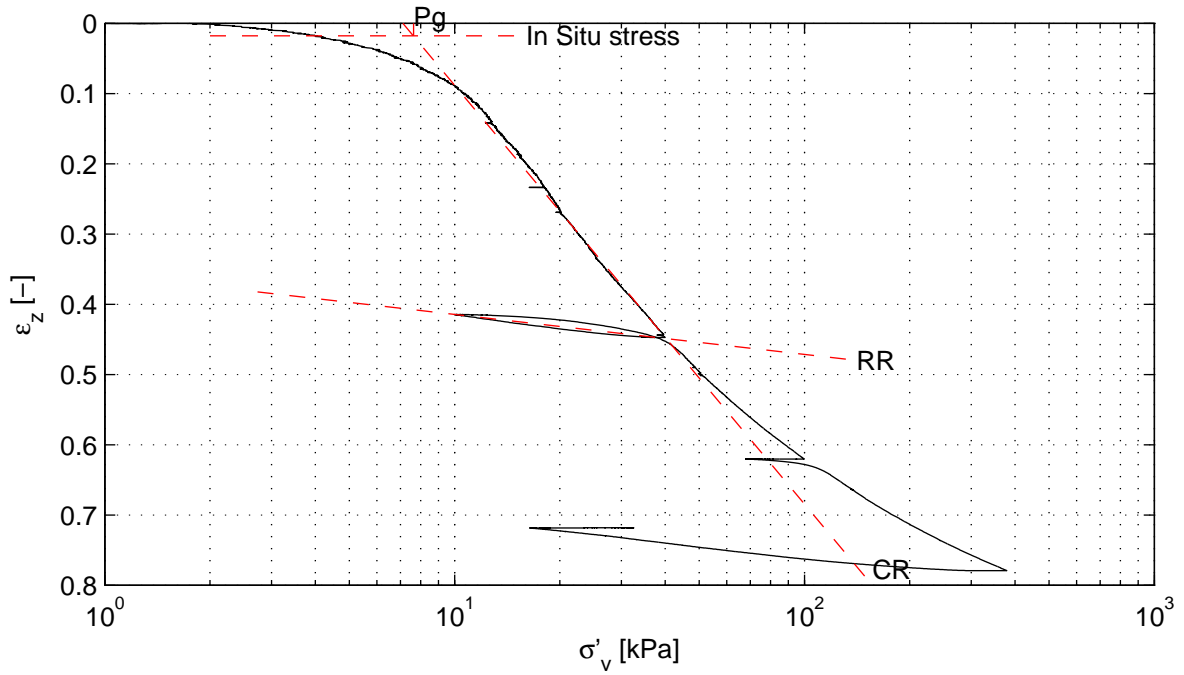
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS4D

page  
1

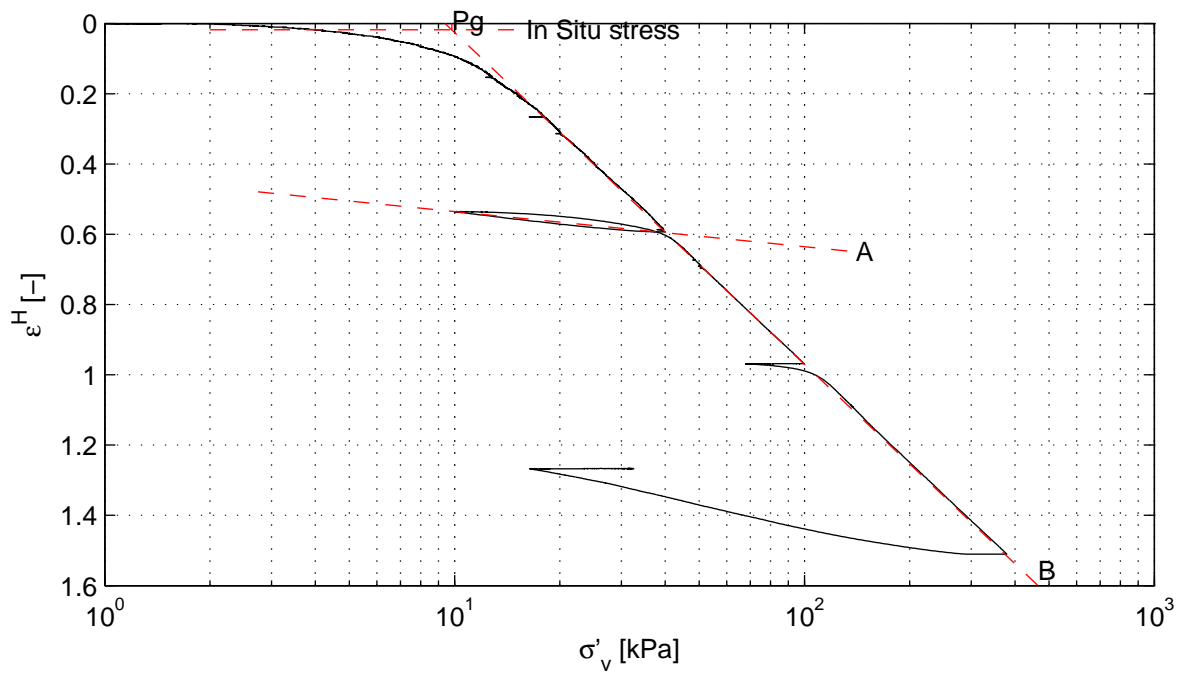
### NEN method



RR = 5.69e-002  
CR = 5.96e-001

Pg = 7.6 kPa

### Isotachen method



A = 4.35e-002  
B = 4.10e-001

C = 3.64e-002

Pg = 9.8 kPa

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT1, sample 4D, depth: -5.30 m till -5.40 m NAP

project  
1202989.0

seen  
-

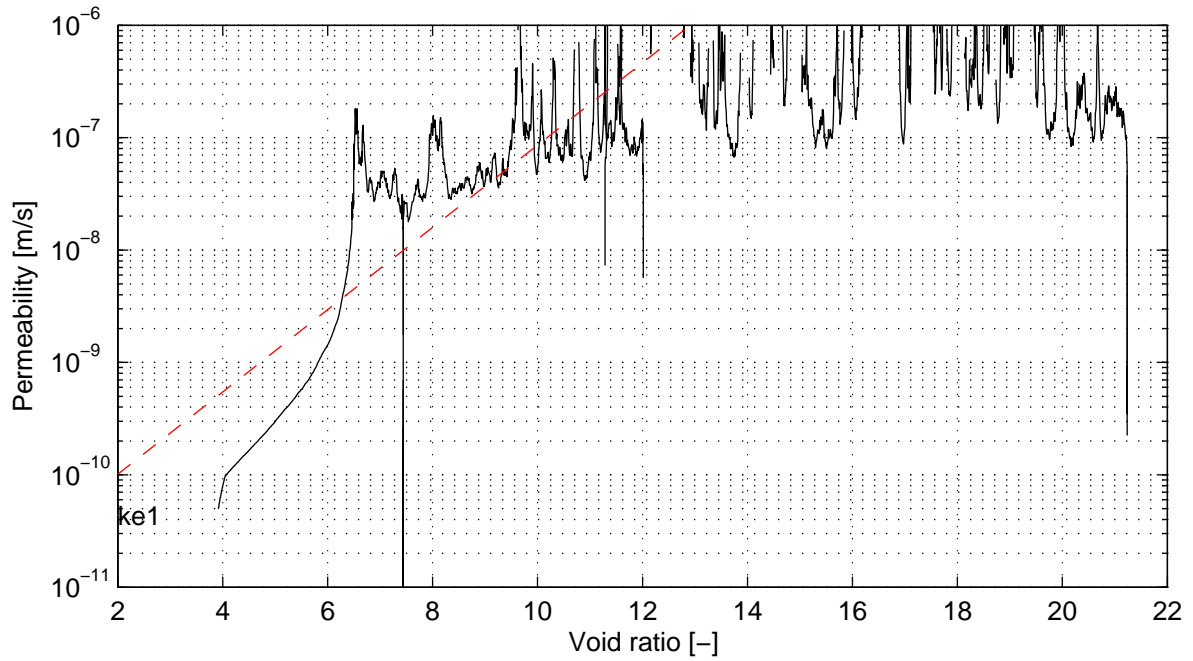
K0-CRS measurement

appendix  
CRS4D

page  
2

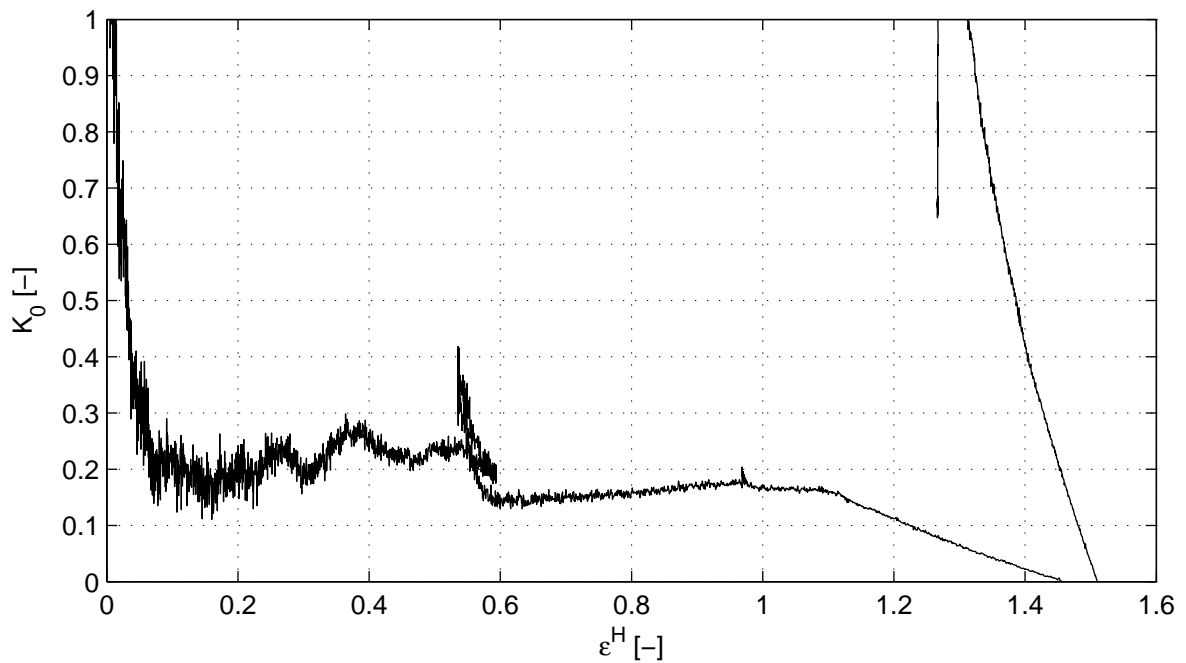
\*) Vrijgegeven door Grw op 2011-05-12 10:10





$k_{e1} = 4.4 \times 10^{-11}$  m/s

slope =  $3.66 \times 10^{-1}$



$v = 0.12$

$K_{0c} = 0.17$

$K_{0e} = \text{NaN}$

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT1, sample 4D, depth: -5.30 m till -5.40 m NAP

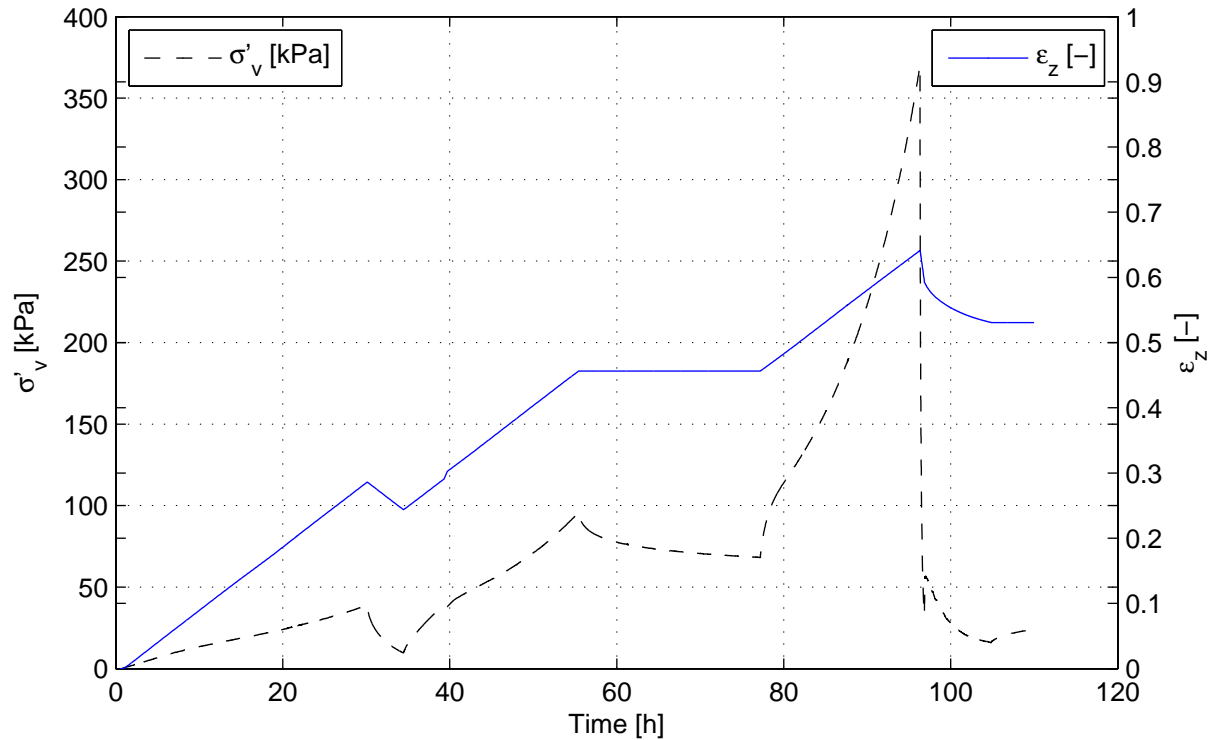
project  
1202989.0

seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS4D

page  
3



**Description of soil sample:**

Soil description (NEN 5104)	Veen, mineraalarm
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	10.0
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	1.3
Water content [%]	677.3
Water content final [%]	314.4
Initial saturation [%]	0.97 (S)
Void ratio – initial [-]	11.21 (e)
Sample disturbance index [%]	2.5, good quality
S and e calculated with assumed $\gamma_s$ [kN/3] of	15.7

**Test overview (test plan):**

Stress loading phase [kPa]	40
Stress unloading phase [kPa]	11
Stress reloading phase [kPa]	100
Stress relaxation phase [kPa]	100
Maximum stress [kPa]	400

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT1, sample 2B, depth: -3.00 m till -3.10 m NAP

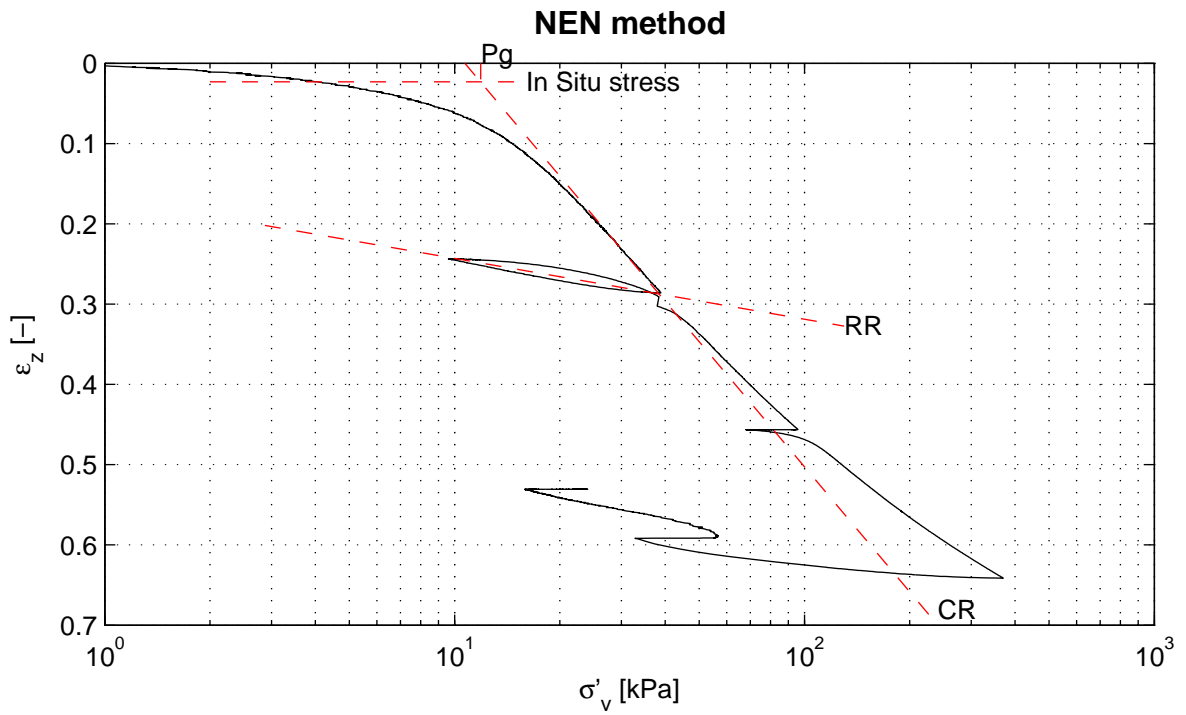
project  
1202989.0

seen  
-

K0-CRS measurement

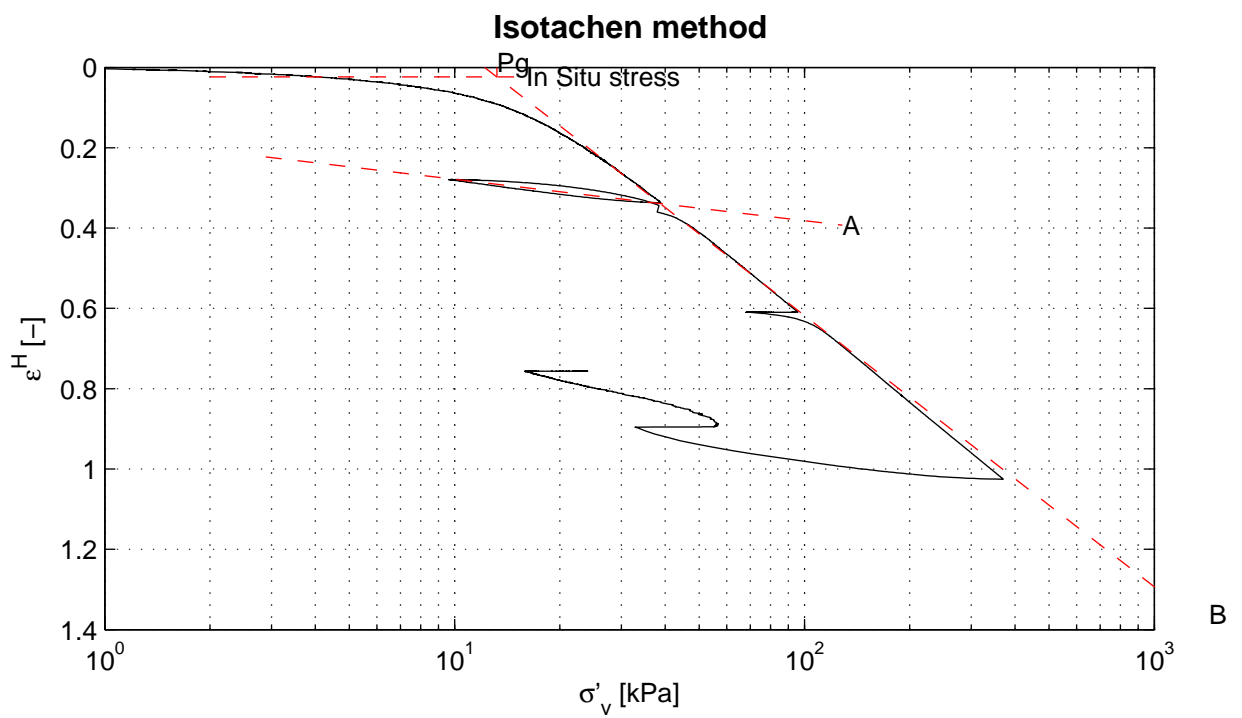
appendix  
CRS2B

page  
1



RR = 7.57e-002  
CR = 5.18e-001

Pg = 11.9 kPa



A = 4.48e-002  
B = 2.94e-001

C = 2.40e-002

Pg = 13.2 kPa

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT1, sample 2B, depth: -3.00 m till -3.10 m NAP

project  
1202989.0

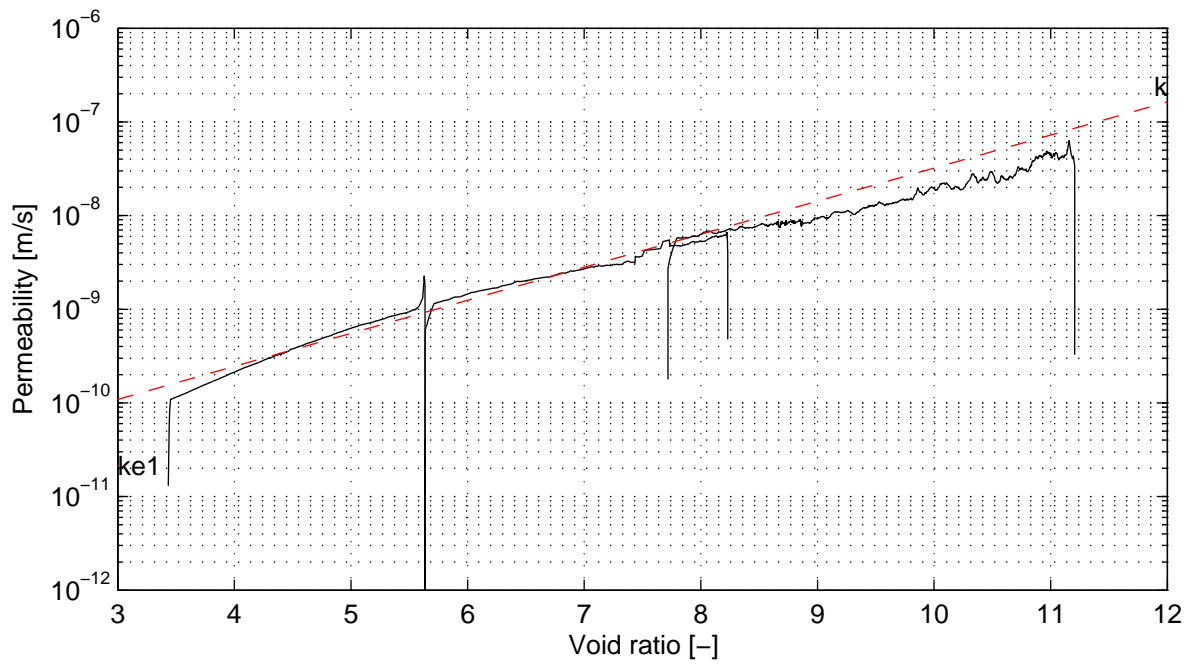
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS2B

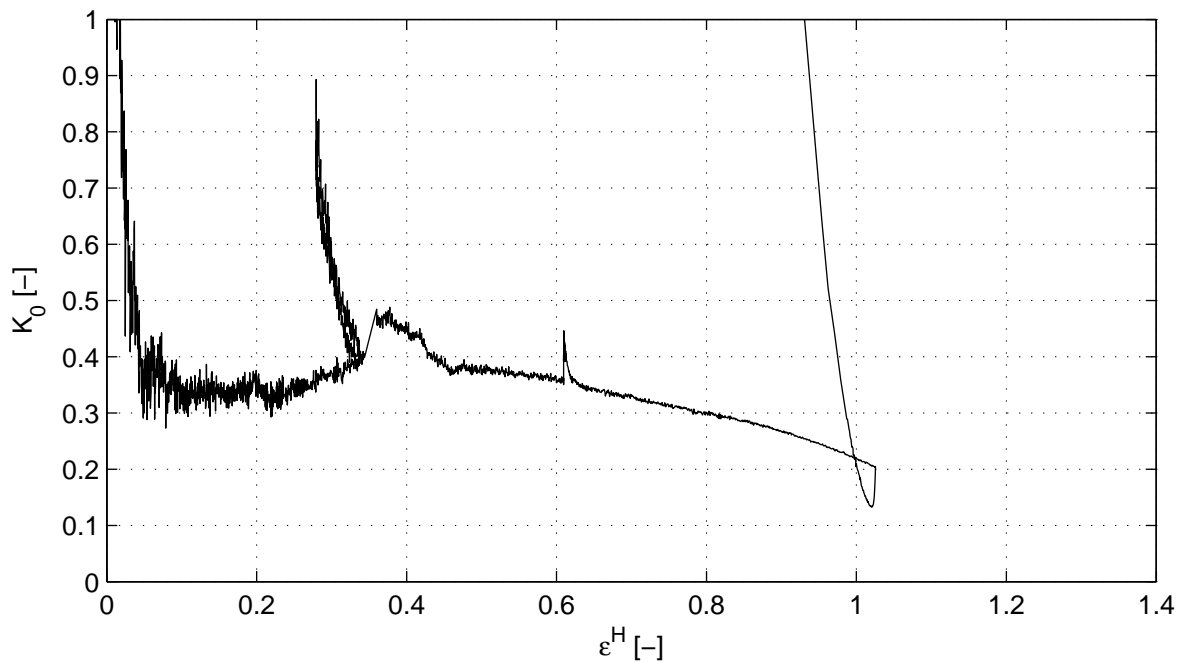
page  
2

\*) Vrijgegeven door Grw op 2011-05-12 10:11



$k_{e1} = 2.2e-011 \text{ m/s}$

slope =  $3.53e-001$



$v = 0.26$

$K_{0c} = 0.38$

$K_{0e} = 0.21$

**Deltares**

PO Box 177, NL 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:  
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date  
2011-05-11

signed  
Ess

K0-CRS proeven voor proefterpen project Bloemendalerpolder: proefterp 1 en 2  
Boring BT1, sample 2B, depth: -3.00 m till -3.10 m NAP

project  
1202989.0

seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS2B

page  
3

## D Lagenmodel Terp T2

Dikte klei	0.23															
Dikte veen	5.45															Σ
Diepte zand	5.68	laagsch			laagsch	hart laag										5561.64
	m-NAP	hart laag	$\gamma_{nat}$	$\sigma_{v0}$	$\sigma_{v0}$	$\sigma'_{v0}$	pg1	pg2	b	OCR	$\tau_0$ [ij]	c	rate 1/s	mm/j		
GWS	1.9	-1.77	-2.135	13.78	0	5.03	5.03									
	wsmA	-2.50	-3.25	10	10.06	17.56	4.8	11.7	12.60	0.30	2.4	273	0.0231	2.68E-12	6.17E-02	
	wsmB	-4.00	-4.75	10	25.06	32.56	5.6	9.6	10.04	0.36	1.7	3	0.0277	3.11E-10	1.47E+01	
	wsmC	-5.50	-6.225	10	40.06	47.31	6.4	7.8	7.93	0.32	1.2	0.034	0.0246	2.27E-08	1.07E+03	
		-6.95	-7.2	10	54.56	57.06	6.9	7.5	7.55	0.30	1.1	0.007	0.0231	9.78E-08	4.47E+03	
stijgh zand	2.1	-7.45			59.56											

Tabel D.1 Berekening initiële toestand – de autonome vervormingssnelheid van terp T2