

## **Dijken op veen**

### **Eindrapport**

dr. ir. C. Zwanenburg  
ing. H.T.J. De Bruijn  
ing. G. de Vries

1203768-000

#### Disclaimer

Dit rapport beschrijft de mogelijke consequenties die de resultaten van de uitgevoerde veldproeven voor de geplande versterking van de Markermeerdijken kunnen hebben. Benadrukt wordt dat de gebruikte rekenmethoden geen goedgekeurde ontwerpenmethoden voor dijken zijn. In vervolgstappen worden de behaalde resultaten verder onderbouwd en ingepast in geschikte ontwerpmethodieken.

**Titel**  
Dijken op veen

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
RWS Waterdienst	1203768-000	1203768-000-GEO-0027	176

**Trefwoorden**  
Dijken op Veen, stabiliteit, Markermeerdijken, praktijkproeven, veengedrag






**Samenvatting**  
Er bestaat grote onduidelijkheid over de vraag hoe de sterkte van veen ten behoeve van de toetsing van bestaande waterkeringen moet worden bepaald en in berekeningen moet worden toegepast. Dit heeft geleid tot het onderzoeksproject Dijken op Veen. Veldproeven spelen een belangrijke rol in het onderzoeksproject. Aansluitend bij dit onderzoek is een uitgebreid laboratorium- en veldonderzoek uitgevoerd. Voorafgaand aan het onderzoek zijn 7 werkwijzen vastgesteld waarop de sterkte van veen kan worden bepaald en in berekeningen worden toegepast.

Er zijn vier proeven succesvol uitgevoerd. De vier proeven kunnen worden onderverdeeld in twee categorieën. De eerste categorie betreft de Single Stage loading test. Hier wordt de ondergrond direct belast tot bezwijken. De tweede categorie betreft de Multi Stage loading test. In deze categorie wordt een voorbelasting aangebracht. Het doel van de voorbelasting is het verhogen van de sterkte op een wijze die vergelijkbaar is met de belastingsituatie onder een dijklichaam.

Dit rapport concentreert zich op de consequenties van de uitkomsten voor het onderzoek voor de stabiliteit van de Markermeerdijken.

Het onderzoek toont aan dat de sterkte van veen hoger is dan volgt uit de werkwijze voor het bepalen van de sterkte eigenschappen zoals die is voorgeschreven in de vigerende leidraden. Uit het onderzoek volgt richting voor het vervolgonderzoek, zoals het gebruik van de DSS proef, mogelijk geschikte betere modellen en verder uit te werken fundamentele onderzoeksvragen. Uit de doorvertaling van de onderzoeksresultaten naar het dijktraject Hoorn – Amsterdam volgt dat een aanzienlijke reductie in de voorgenomen dijkversterking mogelijk is met een betere beschrijving van het veengedrag. In dat geval zou van de voorgenomen versterking met een totale lengte van circa 30 km voor de helft van het traject geen versterking nodig blijken en voor het resterende deel zou de omvang van de dijkversterking tot minder dan de helft kunnen worden teruggebracht. Benadrukt wordt dat de gebruikte rekenmethoden geen goedgekeurde ontwerpenmethoden voor dijken zijn. In vervolgstappen worden de behaalde resultaten verder onderbouwd en ingepast in geschikte ontwerpmethodieken.

**Referenties**  
RWS/WD-2011/1656, zaaknummer 31050474

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
04	okt 2012	ing. H.T.J. de Bruijn		Dr. ir. M.A. Van		Ing. A.T. Aantjes	
		dr.ir. C. Zwanenburg					
		ing. G. de Vries					

**Status**  
definitief

## **A Indeling groepen bij maatgevend dwarsprofiel**

dijk	Dijkvak	rep profiel	Dijkpaal		dijkvak lengte meters	Opdrif fac	MSTBI		MHW		Kwadrant
			van	tot			Neerslag	Zone 1	Zone 2		
	20 20a-1	1	0	2.5	250	>1,2	1.08	1.18	1.08		
	20 20a-2	3	2.5	3.5	100	>1,2	1.22	1.49			0
	20 20a-3	5	3.5	10	650	>1,2	1.3	1.56			0
	20 20a-4	12	10	14	400	>1,2	3.52	1.3			0
	20 20b-1	49	48.5	49.5	100	>1,2	1.28	1.43	1.3		0
	20 20b-4b	64	62	65	300	>1,2	1.45	1.27			0
	22 22-2	11	6	12	600	>1,2	1.43	1.38			0
	23 23-11	97	97	98	100	>1,2	1.28	1.36	1.13		0
	24 24-3	13	13	14	100	>1,2	1.24	1.28			0
	24 24-9	34	33.7	43	930	>1,2	1.35	1.47			0
	25 25-5	11	11	19	800	>1,2	1.08	1.18			0
	25 25-6	19	19	25.5	650	>1,2	1.22	1.18	1.18		0
	25 25-8	39	39	42	300	>1,2	1.22	1.55			0
	25 25-9	42	42	52.7	1070	>1,2	1.08	1.18			0
	26 26-1	0	0	2	200	>1,2	1.08	1.18			0
	27 27-2	9	8.5	17	850	>1,2	1.58	1.66			0
	27 27-3	17	17	31	1400	>1,2	1.41	1.43			0
	27 27-4	31	31	37	600	>1,2	0	1.62			0
	27 27-5	37	37	53.4	1640	>1,2	0	1.39			0
	28 28-8	97	97	111	1400	>1,2	1.45	1.45			0
	28 28-10	129	115	132	1700	>1,2	1.48	1.63			0
	28 28-12	138	135	143.3	830	>1,2	1.47	1.47			0
	29 29-16	157	156.7	184	2730	>1,2	1.42	1.47			0

17700

dijk	Dijkvak	rep profiel	Dijkpaal		dijkvak lengte meters	Opdrijf fac	MSTBI Neerslag	MHW		Kwadrant
			van	tot				Zone 1	Zone 2	
20	20b-4a	55	53	62	900	>1,2	1.08	1.18	1.08	
20	20b-5	70	65	74	900	>1,2	0.92	0.95	0.91	1
23	23-2a	30	27.5	30	250	<1,2	1	0.97	0.86	1
23	23-2b	32	30	39.5	950	>1,2	0.87	0.9	0.9	1
23	23-3	40	39.5	42	250	>1,2	1.04	1.01	1.01	1
23	23-4	46	42	48.5	250	>1,2	0.56	0.47	0.44	1
23	23-5	54	48.5	63	650	>1,2	0.73	0.73	0.65	1
23	23-7	70	66	79.5	1450	>1,2	0.59	0.83	0.55	1
23	23-8	80	79.5	85	1350	>1,2	0.57	0.57	0.5	1
23	23-14	111	109	112	550	>1,2	0.74	0.89	0.61	1
26	26-2	2	2	5	300	>1,2	0.9	0.88	0.88	1
27	27-1	4	0	8.5	300	>1,2	1	1.06	1.01	1
					850	>1,2				1

8700

dijk	Dijkvak	rep profiel	Dijkpaal		dijkvak lengte meters	Oprijf fac	MSTBI		MHW		Kwadrant
			van	tot			Neerslag	Zone 1	Zone 2		
	21 21-1	75	74	77.6	360	>1,2	1.08	1.18	1.08		
	22 22-1	1	0	6	600	>1,2	1.12	1.15	1.15	2	
	22 22-3	19	12	21	900	>1,2	0.94	0.92	0.92	2	
	23 23-6	63	63	66	300	>1,2	1.02	1.12	1.12	2	
	28 28-5	81	80.5	82.8	230	>1,2	0.57	0.57	0.5	2	
	28 28-6	84	82.8	89	620	>1,2	1.07	1	1	2	
	28 28-7	92	89	97	800	>1,2	1.11	1.12	1.12	2	
	28 28-9	112	111	115	400	>1,2	1.07	1.02	1.02	2	
							1.23	0.96	0.96	2	

dijk	Dijkvak	rep profiel	Dijkpaal		dijkvak lengte meters	Opdrijf fac	MSTBI Neerslag	MHW		Kwadrant
			van	tot				Zone 1	Zone 2	
	25/25-1	0	0	1.5	150	>1,2	1.08	1.18	1.08	
	25/25-2	2	1.5	6.7	520	>1,2	1	0.98	0.98	3
	25/25-3	7	6.7	9.5	280	>1,2	1	0.98	0.98	3
	25/25-4	10	9.5	11	150	>1,2	1.01	1.01	1.01	3
	25/25-7	26	25.5	39	1350	<1,2	0	0.9	0.9	3
	28/28-1	54	53.4	55	160	>1,2	0.98	0.98	0.98	3
	28/28-2	54	55	64	900	>1,2	0.98	0.98	0.98	3
	28/28-3	64	64	77.5	1350	>1,2	1.15	0.99		3
	28/28-13	146	143.3	147	370	>1,2	0.99	1.02	1.02	3
	28/29/28/29-14	148	147	154	700	>1,2	1.41	0.98	0.98	3
	29/29-15	154	154	156.7	270	<1,2	1.05	0.95	0.95	3

6200

dijk	Dijkvak	rep profiel	Dijkpaal		dijkvak lengte meters	Opdrif fac	MSTBI		MHW		Kwadrant
			van	tot			Neerslag	Zone 1	Zone 2		
	20 20a-5	15	14	20	600 >1,2		1.08	1.18	1.08		
	20 20a-6	24	20	26	600 >1,2		0.91	1	0.96		4
	20 20a-7	28	26	29	300 >1,2		1.02	1.03	1.03		4
	20 20a-8	30	29	34	500 >1,2		0.85	0.82	0.85		4
	20 20a-9	35	34	36.5	250 >1,2		0.85	0.86	0.82		4
	20 20a-10	45	36.5	47	1050 >1,2		1	1.47	1.03		4
	20 20a-11	48	47	48.5	150 >1,2		1	1.22	1.04		4
	20 20b-2	50	49.5	50.5	100 <1,2		1.06	1.09	1.06		4
	20 20b-3	52	50.5	53	250 >1,2		0.81	0.74	0.71		4
	23 23.1	27	21	27.5	650 >1,2		0.67	0.76	0.57		4
	23 23-9	91	85	95	1000 >1,2		0.64	0.67	0.62		4
	23 23-10	96	95	97	200 >1,2		1.01	1.04	1.04		4
	23 23-12	99	98	100	200 >1,2		0.96	0.86	0.86		4
	23 23-13	105	100	109	900 >1,2		0.94	0.94	0		4
	24 24-1	0	0	7	700 >1,2		0.82	1.11	0.94		4
	24 24-2	7	7	13	600 >1,2		0.87	0.74	0.74		4
	24 24-4	14	14	20	600 >1,2		1.04	1.09	0.74		4
	24 24-5	20	20	24	400 >1,2		1.04	1.09	0.74		4
	24 24-6	24	24	29	500 >1,2		1.04	1.09	0.74		4
	24 24-7	30	29	30.3	130 >1,2						4
	24 24-8	33	30.3	33.7	340 >1,2		0	0	0		4
	24 24-10	43	43	45	200 >1,2		1.04	1.08	1.08		4



dijk	Dijkvak	rep profiel	Dijkpaal		dijkvak lengte meters	Opdrif fac	MSTBI		MHW		Kwadrant
			van	tot			Neerslag	Zone 1	Zone 2		
	28/28-4	74	77.50	80.50	300.00	>1,2	1.01	0.89	0.89	5	
	28/28-11	135	132.00	135.00	300.00	>1,2	0.99	1.03	1.03	5	

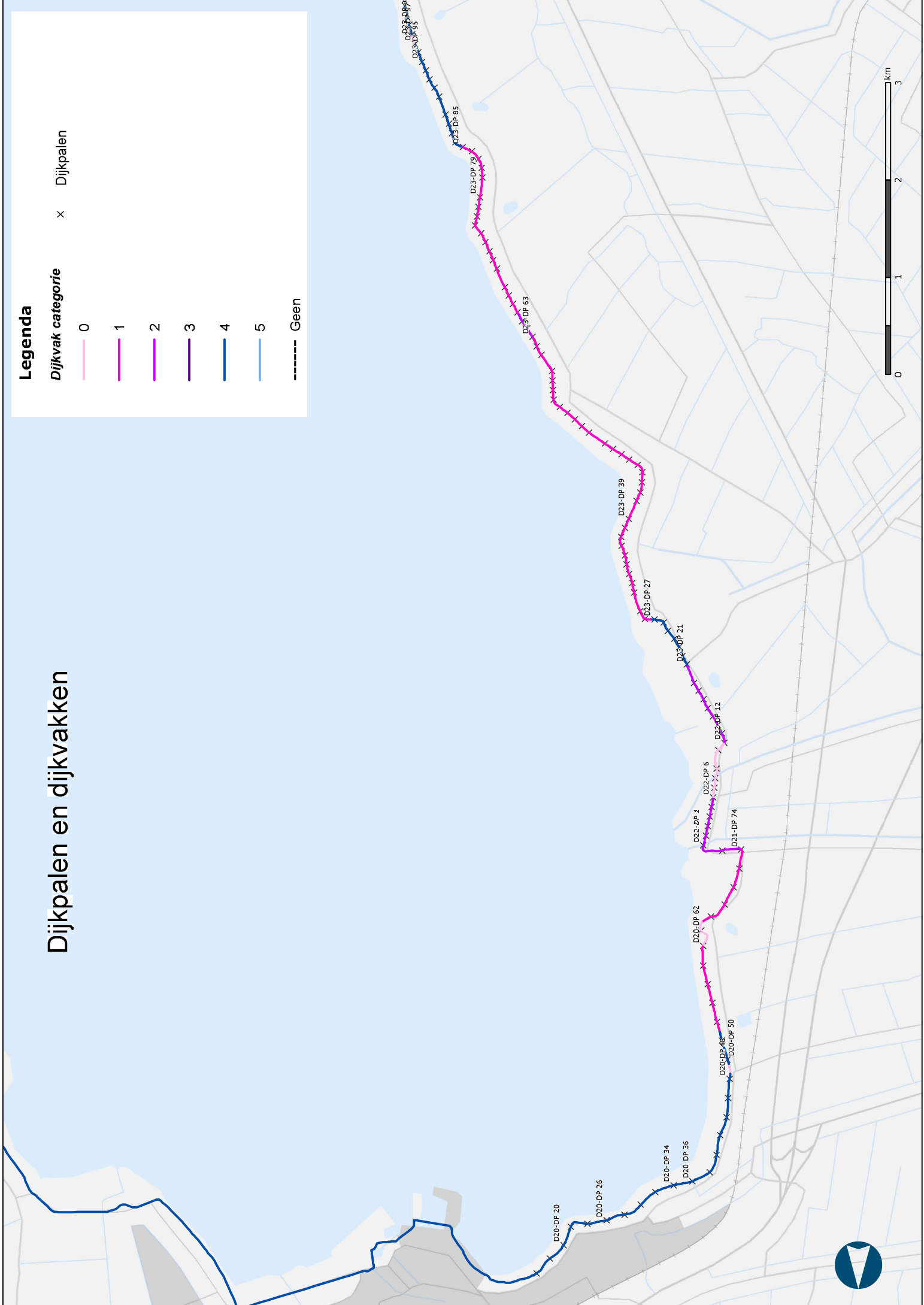
600.00

## **B Resultaten analyse satellietbeelden**

# Dijkpalen en dijkvakken

## Legenda

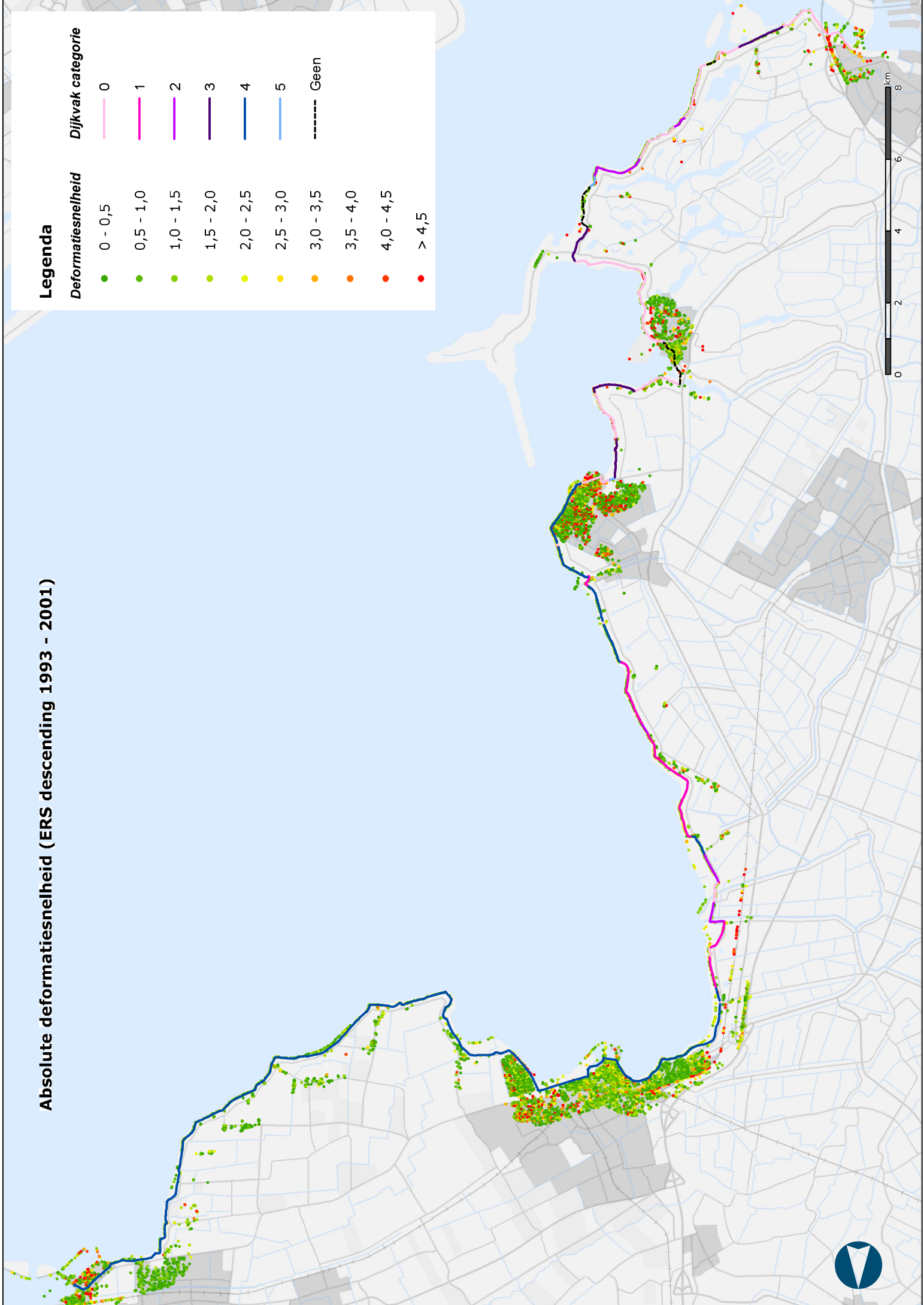
Dijkvak categorie	Dijkpalen
0	—
1	—
2	—
3	—
4	—
5	—
Geen	-----



# Absolute deformatiesnelheid (ERS descending 1993 - 2001)

## Legenda

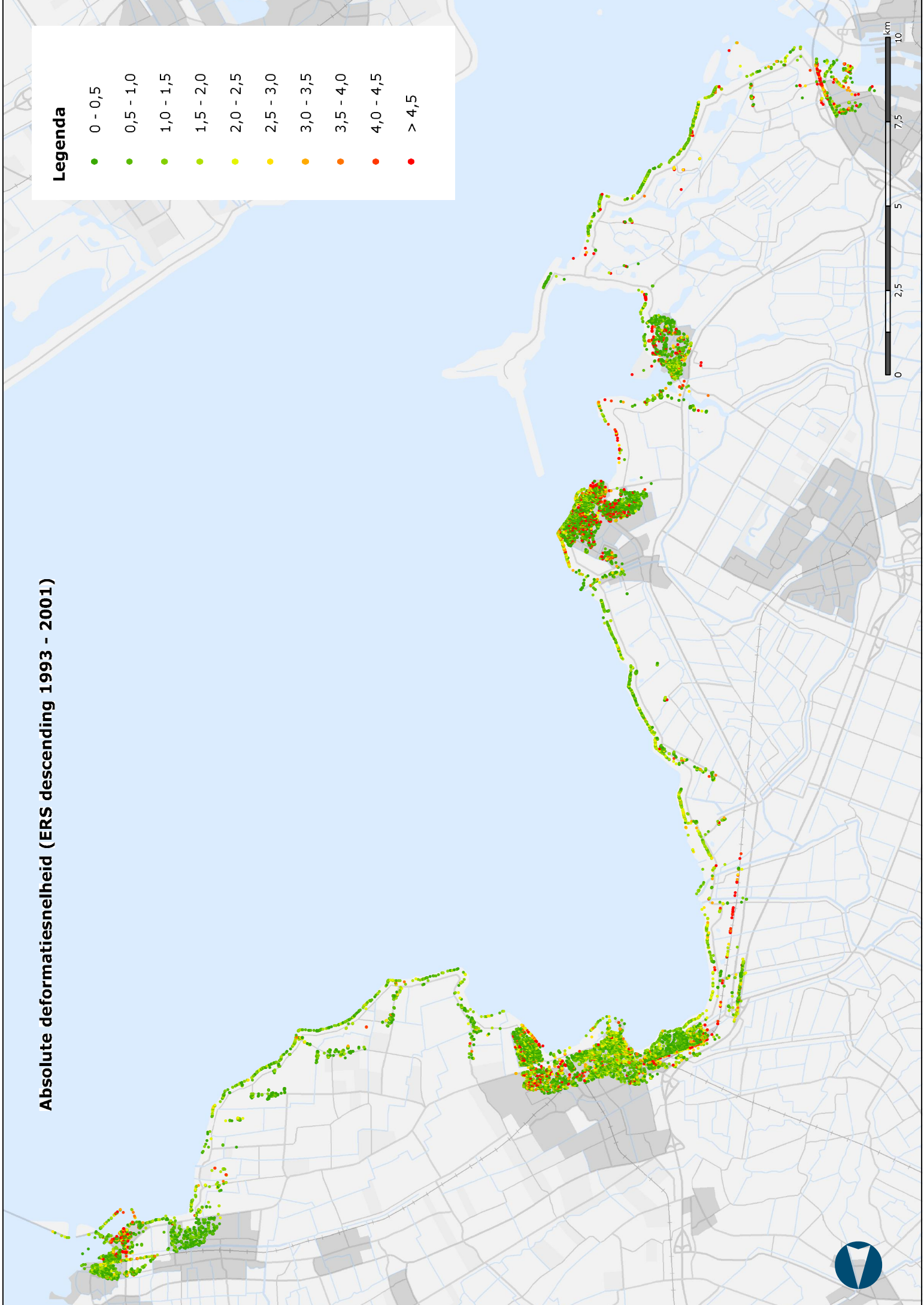
Deformatiesnelheid	Dijkvak categorie
0 - 0,5	0
0,5 - 1,0	1
1,0 - 1,5	2
1,5 - 2,0	3
2,0 - 2,5	4
2,5 - 3,0	5
3,0 - 3,5	Geen
3,5 - 4,0	
4,0 - 4,5	
> 4,5	



# Absolute deformatiesnelheid (ERS descending 1993 - 2001)

## Legenda

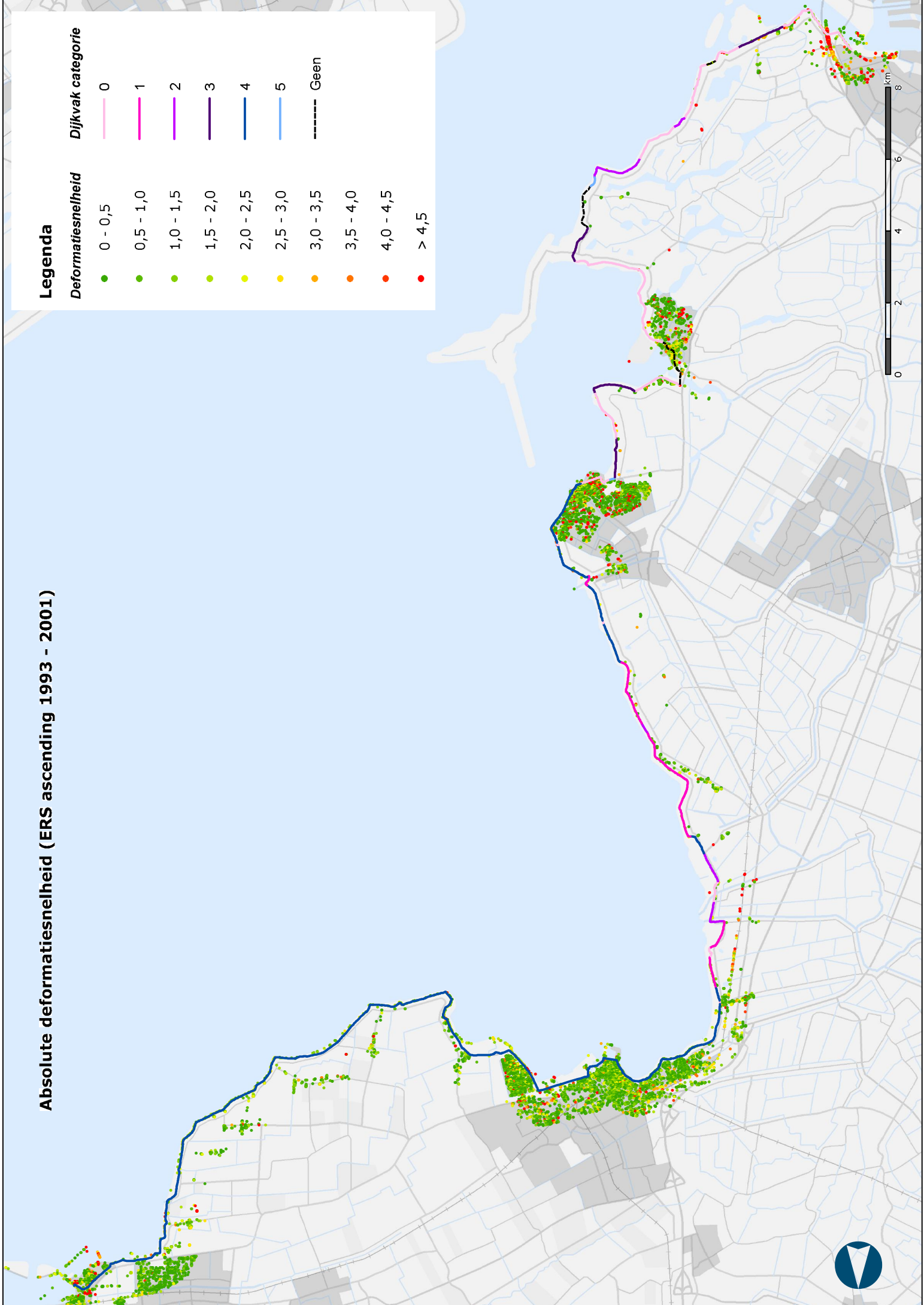
- 0 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 1,5
- 1,5 - 2,0
- 2,0 - 2,5
- 2,5 - 3,0
- 3,0 - 3,5
- 3,5 - 4,0
- 4,0 - 4,5
- > 4,5



# Absolute deformatiesnelheid (ERS ascending 1993 - 2001)

## Legenda

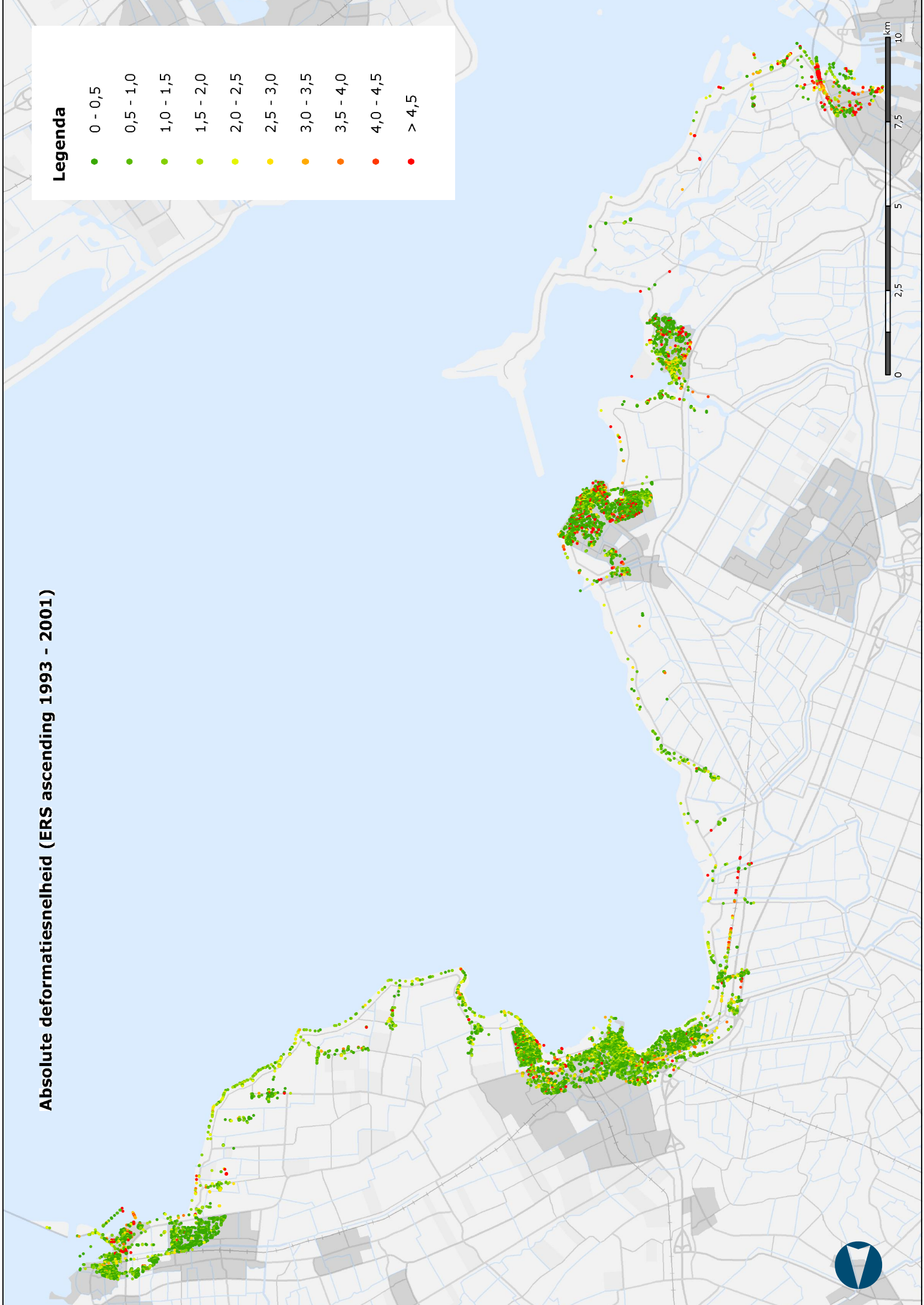
Deformatiesnelheid	Dijkvak categorie
0 - 0,5	0
0,5 - 1,0	1
1,0 - 1,5	2
1,5 - 2,0	3
2,0 - 2,5	4
2,5 - 3,0	5
3,0 - 3,5	Geen
3,5 - 4,0	
4,0 - 4,5	
> 4,5	



# Absolute deformatiesnelheid (ERS ascending 1993 - 2001)

## Legenda

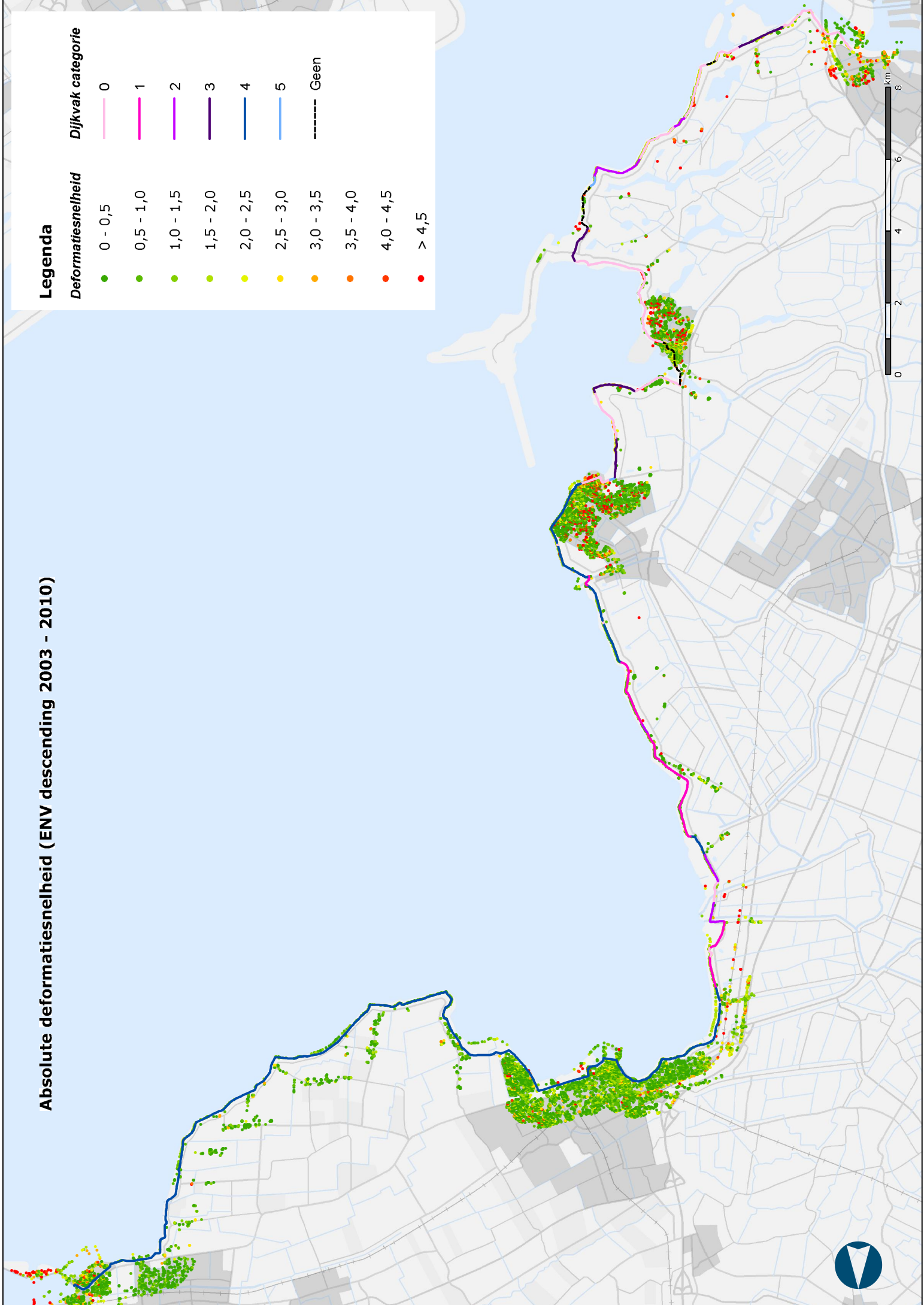
- 0 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 1,5
- 1,5 - 2,0
- 2,0 - 2,5
- 2,5 - 3,0
- 3,0 - 3,5
- 3,5 - 4,0
- 4,0 - 4,5
- > 4,5



# Absolute deformatiesnelheid (ENV descending 2003 - 2010)

## Legenda

Deformatiesnelheid	Dijkvak categorie
0 - 0,5	0
0,5 - 1,0	1
1,0 - 1,5	2
1,5 - 2,0	3
2,0 - 2,5	4
2,5 - 3,0	5
3,0 - 3,5	Geen
3,5 - 4,0	
4,0 - 4,5	
> 4,5	

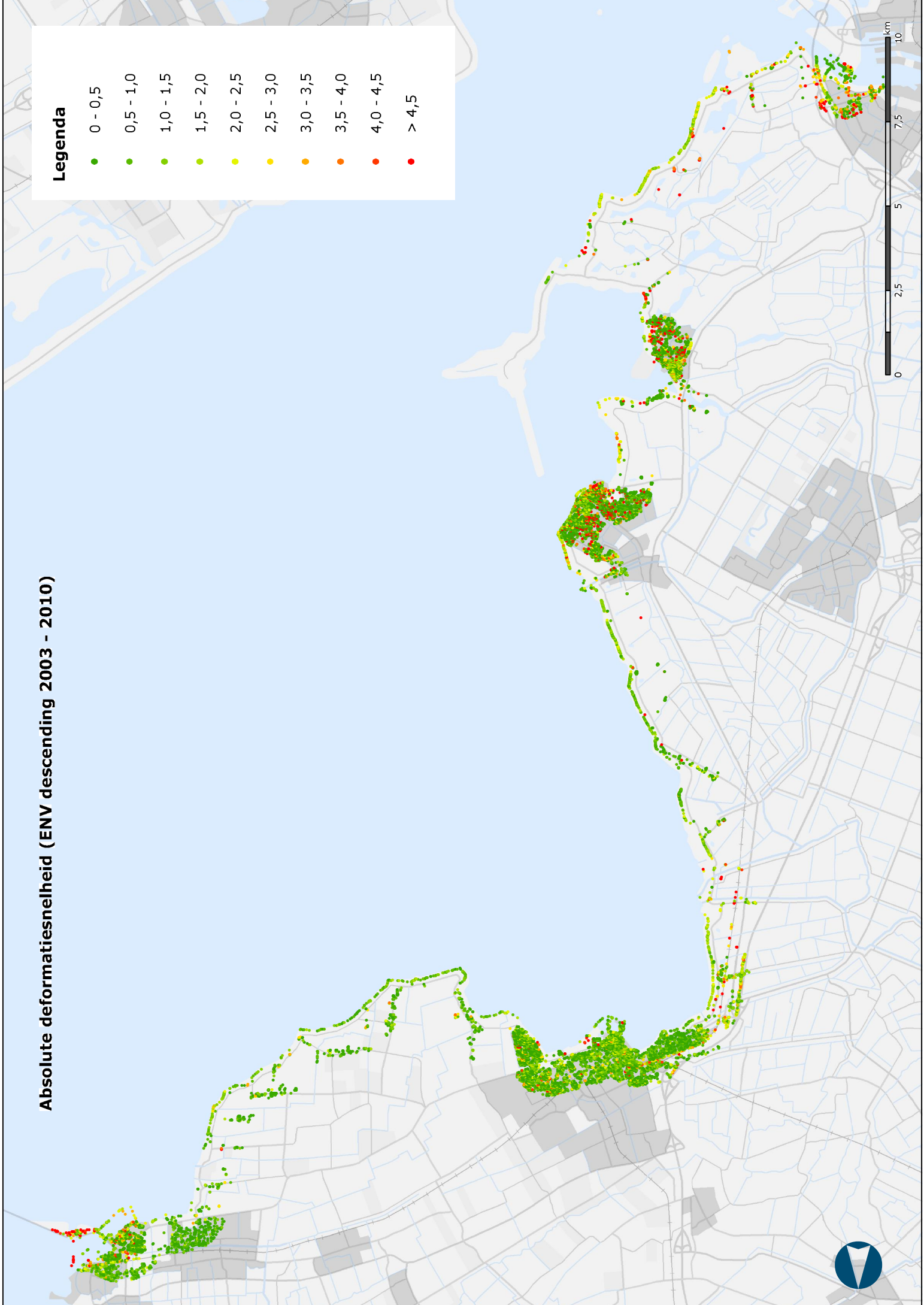




# Absolute deformatiesnelheid (ENV descending 2003 - 2010)

## Legenda

- 0 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 1,5
- 1,5 - 2,0
- 2,0 - 2,5
- 2,5 - 3,0
- 3,0 - 3,5
- 3,5 - 4,0
- 4,0 - 4,5
- > 4,5



# Absolute deformatiesnelheid (ENV ascending 2003 - 2010)

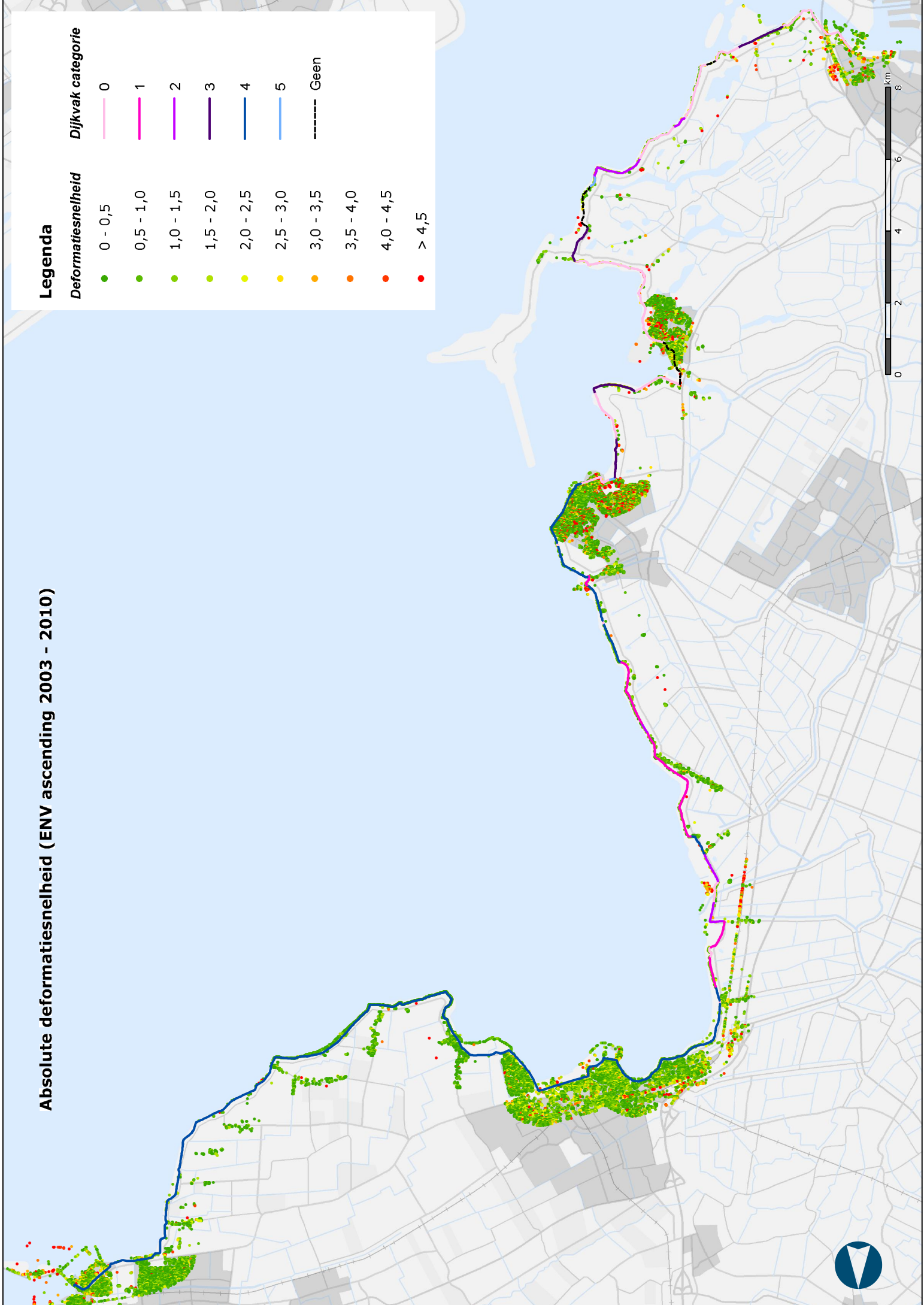
## Legenda

### Deformatiesnelheid

- 0 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 1,5
- 1,5 - 2,0
- 2,0 - 2,5
- 2,5 - 3,0
- 3,0 - 3,5
- 3,5 - 4,0
- 4,0 - 4,5
- > 4,5

### Dijkvak categorie

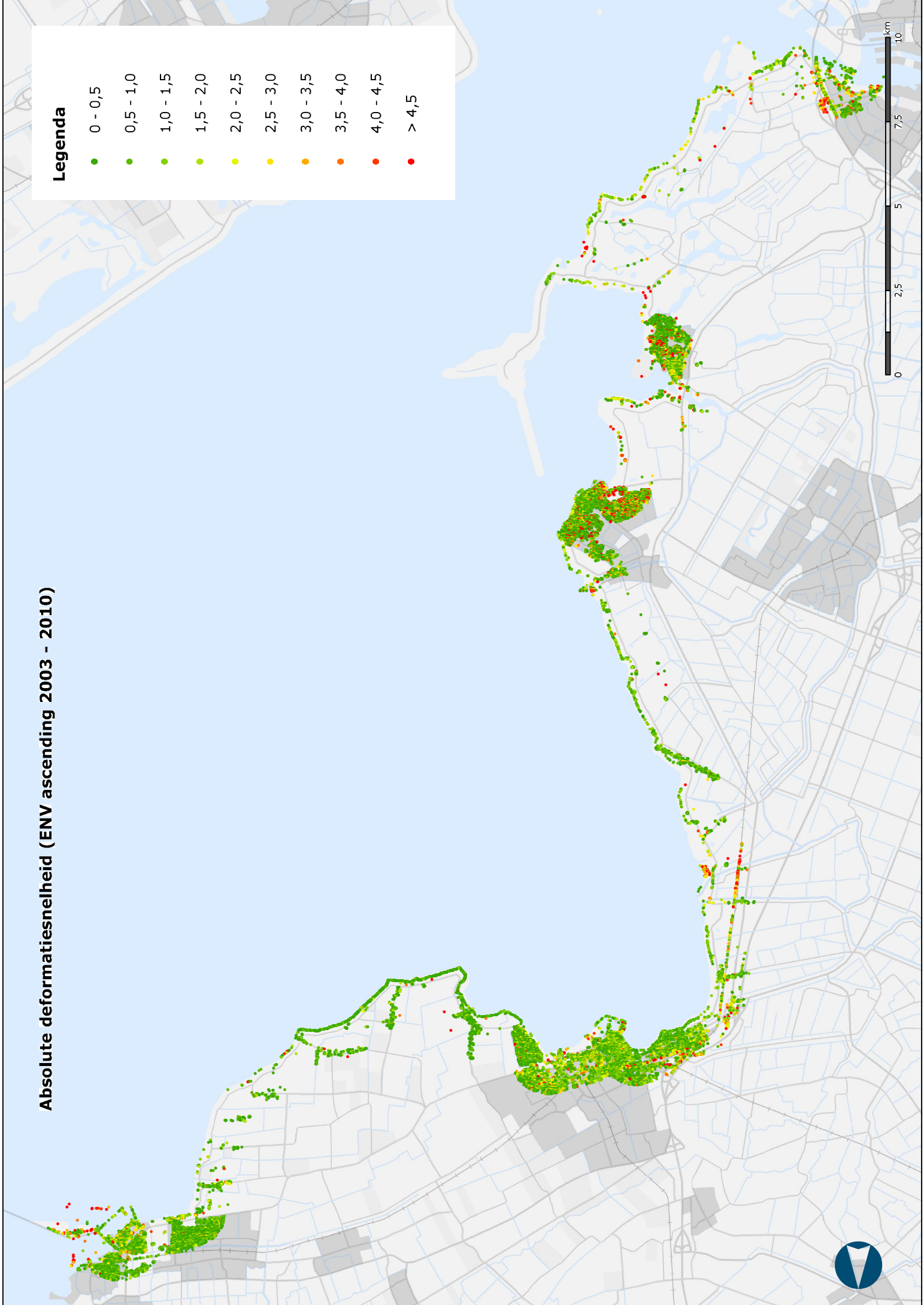
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- Geen



# Absolute deformatiesnelheid (ENV ascending 2003 - 2010)

## Legenda

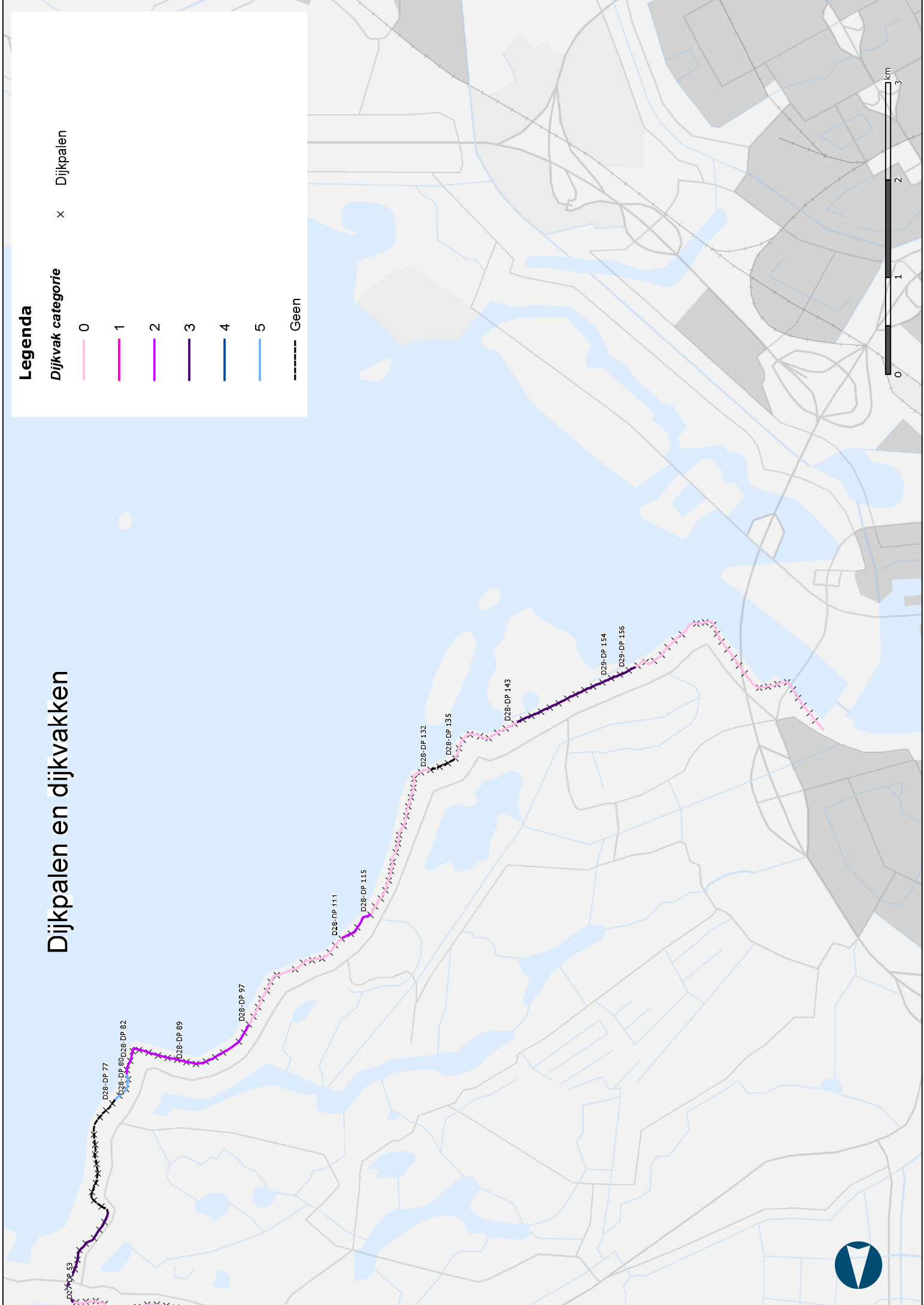
- 0 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 1,5
- 1,5 - 2,0
- 2,0 - 2,5
- 2,5 - 3,0
- 3,0 - 3,5
- 3,5 - 4,0
- 4,0 - 4,5
- > 4,5



# Dijkpalen en dijkvakken

## Legenda

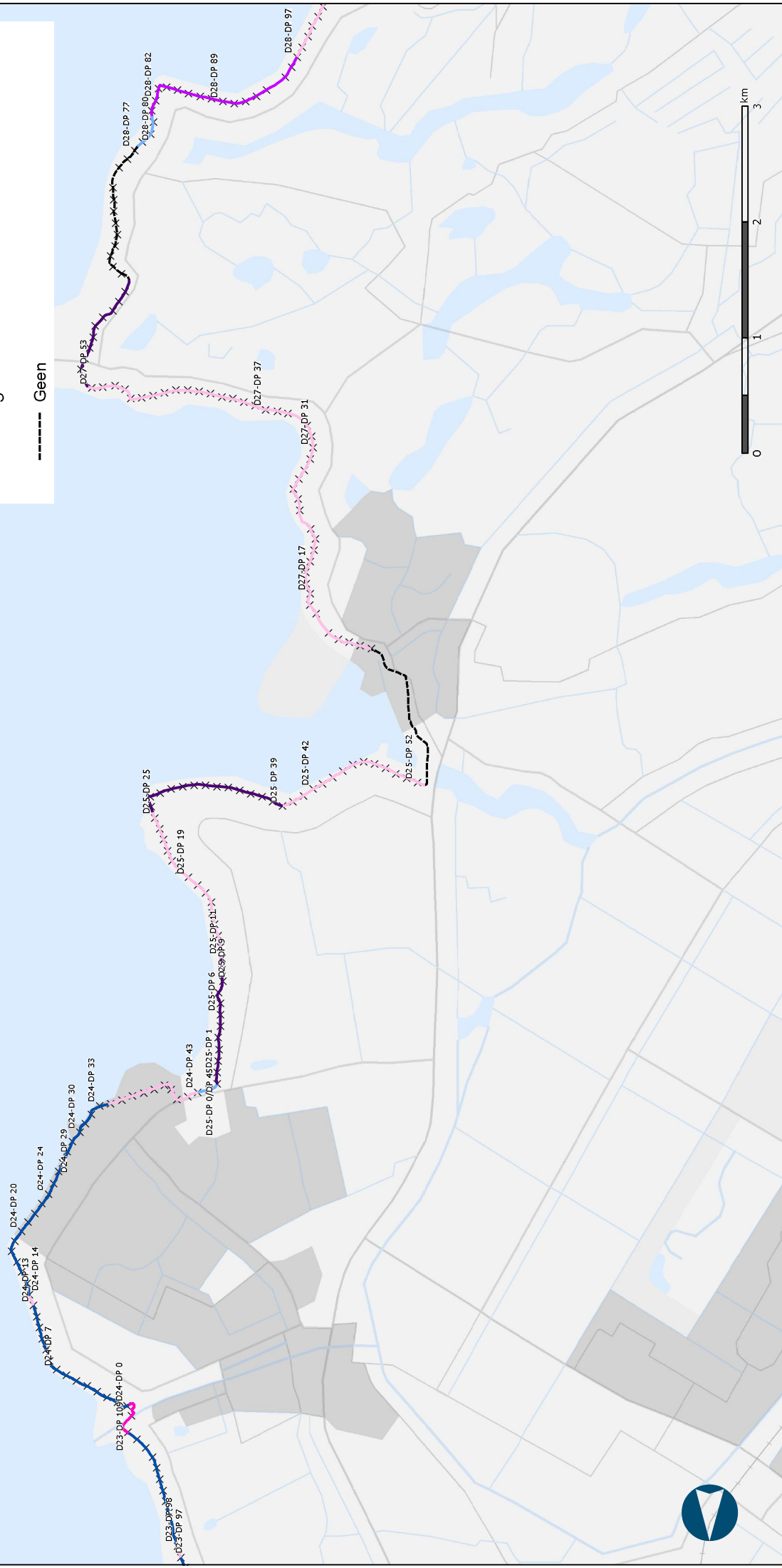
Dijkvak categorie	Dijkpalen
0	—
1	—
2	—
3	—
4	—
5	—
Geen	-----



# Dijkpalen en dijkvakken

## Legenda

Dijkvak categorie	Dijkpalen
0	×
1	×
2	×
3	×
4	×
5	×
Geen	---



# Markermeerdijk

Hansje Brinker - Deltares/RWS



**Hansje Brinker BV**  
Oude Delft 175  
2611 HB Delft  
T: 015-8200225  
E: info@hansjebrinker.com

<b>Opdrachtgever</b>	Deltares
<b>Project</b>	Markermeerdijk
<b>Project ID</b>	
<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	September 14, 2011
<b>Periode</b>	1993-2010

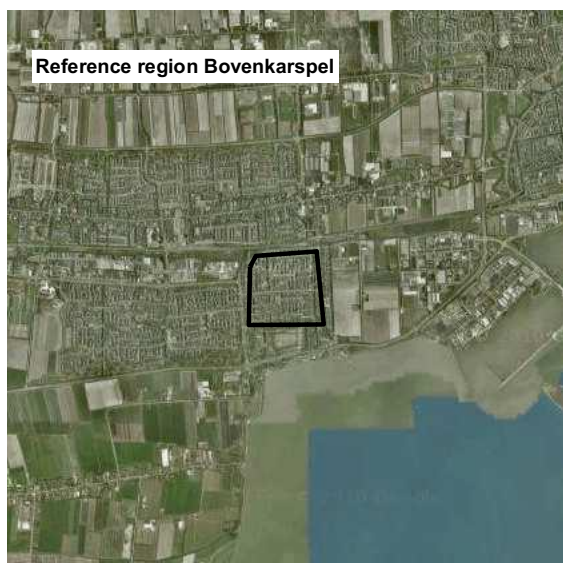


Figure 1: Boundaries of the reference region in Bovenkarspel.

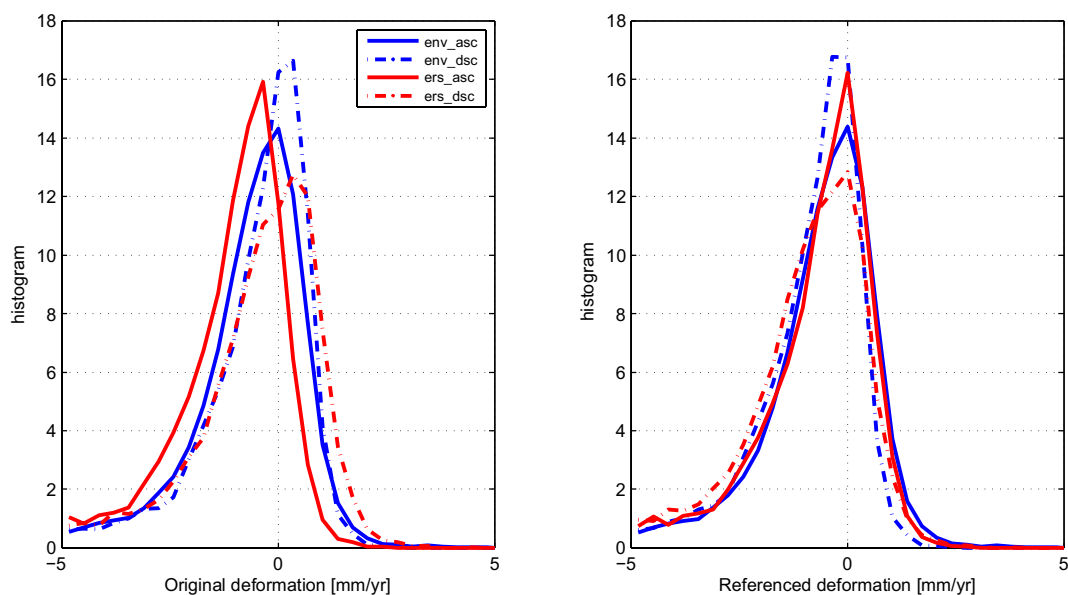


Figure 2: Histograms of linear velocities for the four datasets, before and after referencing to a common reference region.



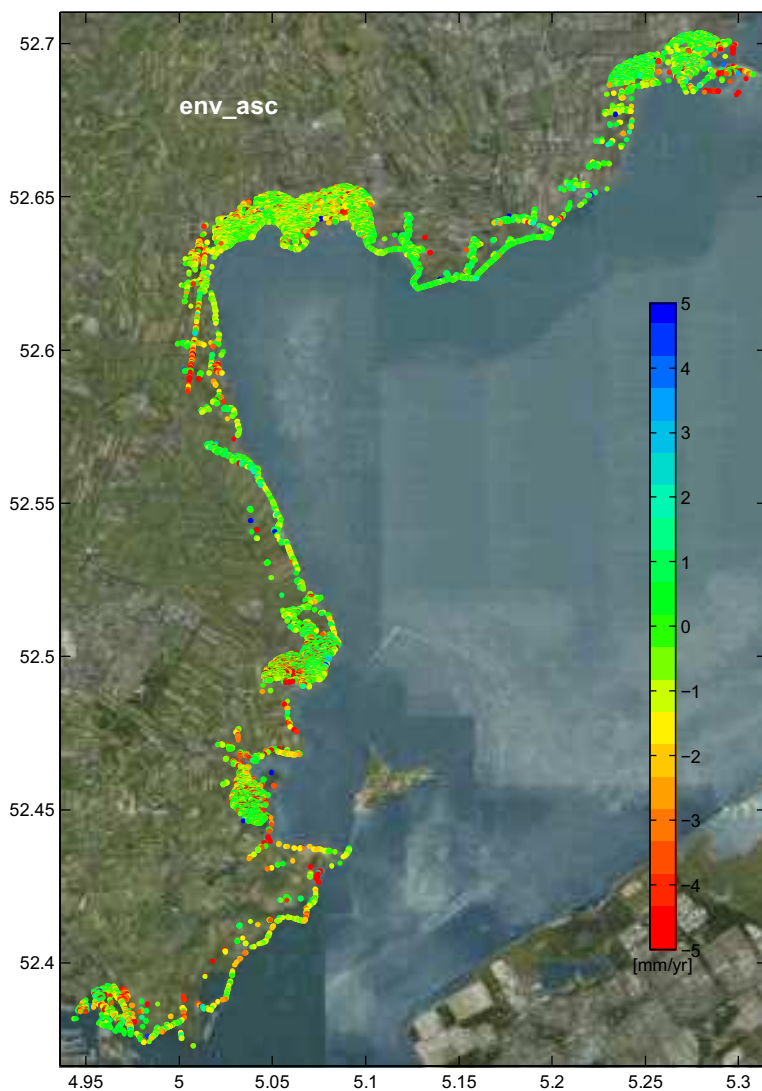


Figure 3: Linear velocities for a single dataset



**Hansje Brinker BV**  
Oude Delft 175  
2611 HB Delft  
T: 015-8200225  
E: info@hansjebrinker.com

<b>Opdrachtgever</b>	Deltares
<b>Project</b>	Markermeerdijk
<b>Project ID</b>	
<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	September 14, 2011
<b>Periode</b>	1993-2010



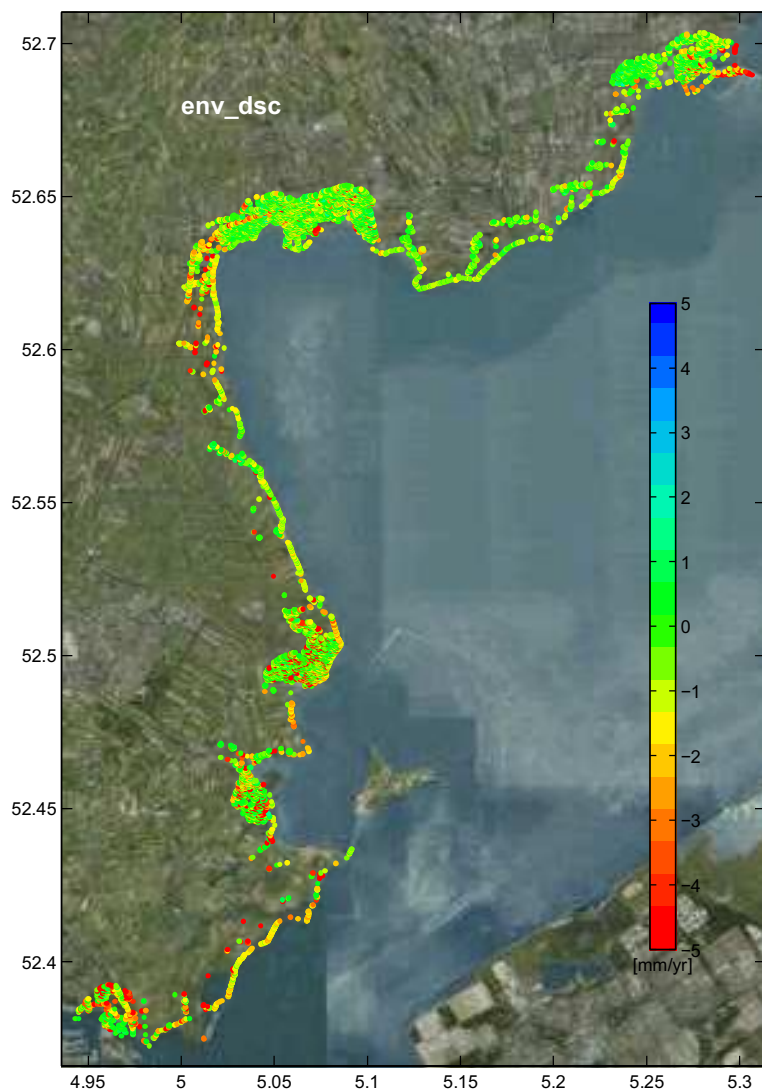


Figure 4: Linear velocities for a single dataset



**Hansje Brinker BV**  
Oude Delft 175  
2611 HB Delft  
T: 015-8200225  
E: info@hansjebrinker.com

<b>Opdrachtgever</b>	Deltares
<b>Project</b>	Markermeerdijk
<b>Project ID</b>	
<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	September 14, 2011
<b>Periode</b>	1993-2010

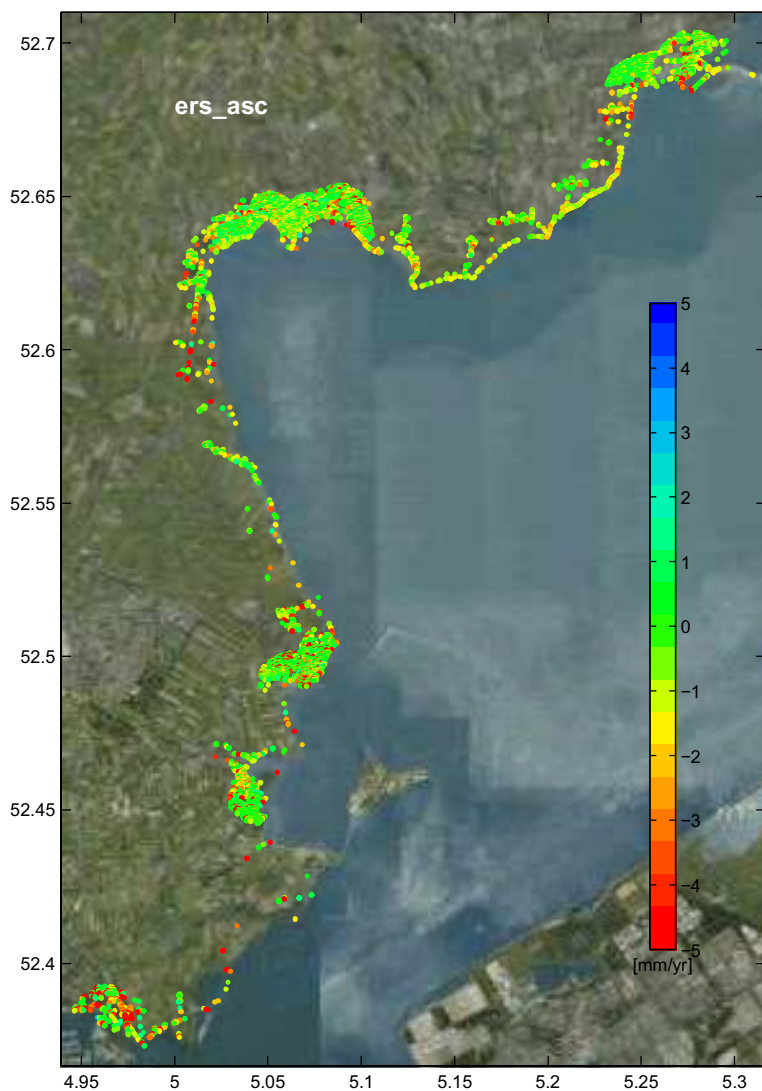


Figure 5: Linear velocities for a single dataset



**Hansje Brinker BV**  
Oude Delft 175  
2611 HB Delft  
T: 015-8200225  
E: info@hansjebrinker.com

<b>Opdrachtgever</b>	Deltares
<b>Project</b>	Markermeerdijk
<b>Project ID</b>	
<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	September 14, 2011
<b>Periode</b>	1993-2010

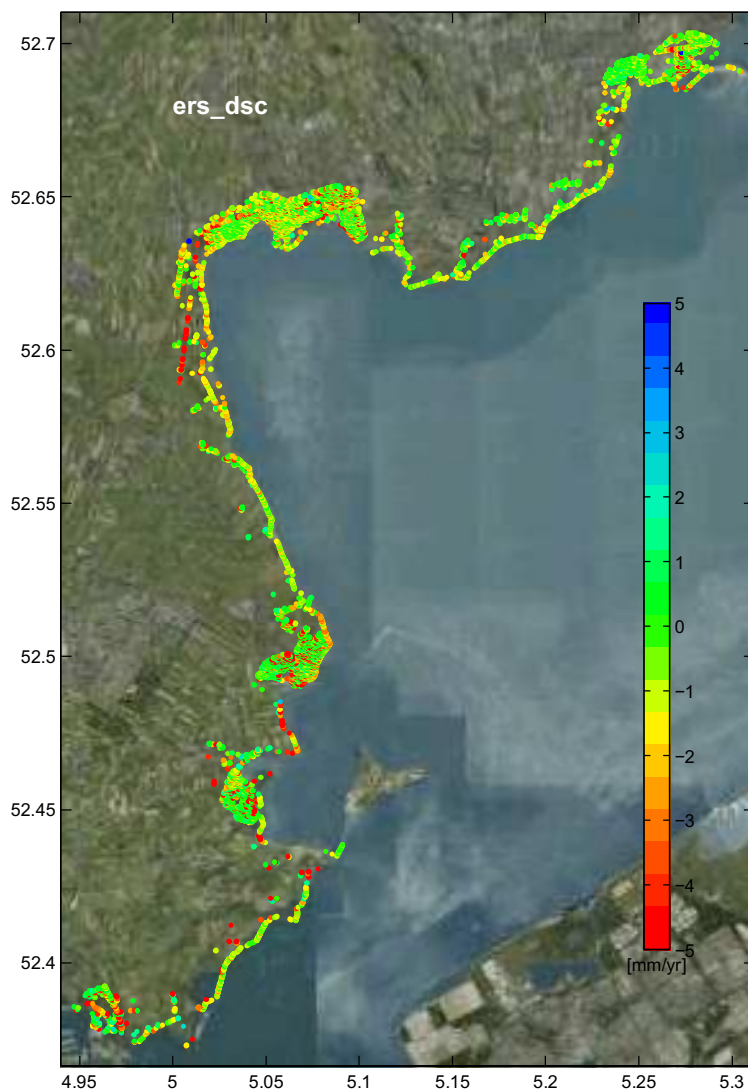


Figure 6: Linear velocities for a single dataset



**Hansje Brinker BV**  
Oude Delft 175  
2611 HB Delft  
T: 015-8200225  
E: info@hansjebrinker.com

<b>Opdrachtgever</b>	Deltares
<b>Project</b>	Markermeerdijk
<b>Project ID</b>	
<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	September 14, 2011
<b>Periode</b>	1993-2010

Data summary	
Sensor	
	Sensor ASAR
	Orbit ascending
	Incidence angle [deg] 43.9
	Resolution on ground [m] 3x 11
Acquisitions	
	Time of acquisitions 9:33 PM
	Number of acquisitions 43
	First 23-Dec-2002
	Last 14-Jun-2010
Datapoints	
	nr of points 23801
	coherence 0.60 - 1.00
Linear velocities	
	percentile [mm/year]
	10 -2.5
	30 -1.0
	50 -0.4
	70 0.1
	90 0.7

Data summary	
Sensor	
	Sensor ASAR
	Orbit descending
	Incidence angle [deg] 22.8
	Resolution on ground [m] 4x 20
Acquisitions	
	Time of acquisitions 10:07 AM
	Number of acquisitions 75
	First 19-Mar-2003
	Last 13-Oct-2010
Datapoints	
	nr of points 12458
	coherence 0.60 - 1.00
Linear velocities	
	percentile [mm/year]
	10 -2.8
	30 -1.2
	50 -0.6
	70 -0.1
	90 0.3

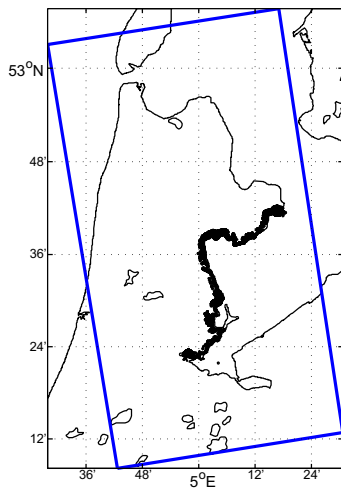


Figure 7: Locations of the SAR image data stack (blue line) and the points where deformations were computed (black dots)

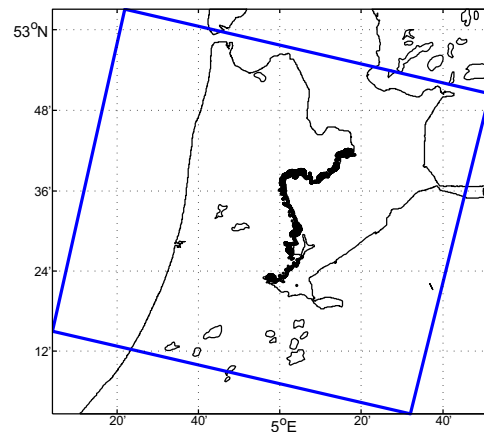


Figure 9: Locations of the SAR image data stack (blue line) and the points where deformations were computed (black dots)

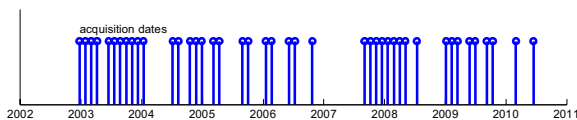


Figure 8: timeline of the data acquisitions. Each acquisition is drawn as a blue line on the horizontal (time) axis.

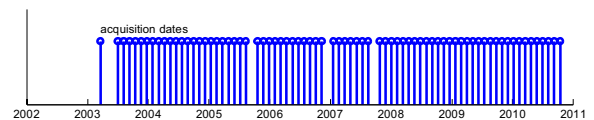


Figure 10: timeline of the data acquisitions. Each acquisition is drawn as a blue line on the horizontal (time) axis.



**Hansje Brinker BV**  
 Oude Delft 175  
 2611 HB Delft  
 T: 015-8200225  
 E: info@hansjebrinker.com

**Opdrachtgever** Deltares  
**Project** Markermeerdijk  
**Project ID**  
**Versie** 1.0  
**Datum** September 14, 2011  
**Periode** 1993-2010

Data summary		
Sensor	Sensor	ERS-1, ERS-2
	Orbit	ascending
	Incidence angle [deg]	23.3
	Resolution on ground [m]	4x 20
Acquisitions		
	Time of acquisitions	9:40 PM
	Number of acquisitions	60
	First	03-May-1992
	Last	06-Dec-2000
Datapoints		
	nr of points	9147
	coherence	0.60 - 1.00
Linear velocities		
	percentile	[mm/year]
	10	-3.0
	30	-1.2
	50	-0.5
	70	0.0
	90	0.6

Data summary		
Sensor	Sensor	ERS-1, ERS-2
	Orbit	descending
	Incidence angle [deg]	23.3
	Resolution on ground [m]	4x 20
Acquisitions		
	Time of acquisitions	10:37 AM
	Number of acquisitions	82
	First	26-Apr-1992
	Last	03-Jan-2001
Datapoints		
	nr of points	10770
	coherence	0.50 - 1.00
Linear velocities		
	percentile	[mm/year]
	10	-3.4
	30	-1.5
	50	-0.8
	70	-0.1
	90	0.5

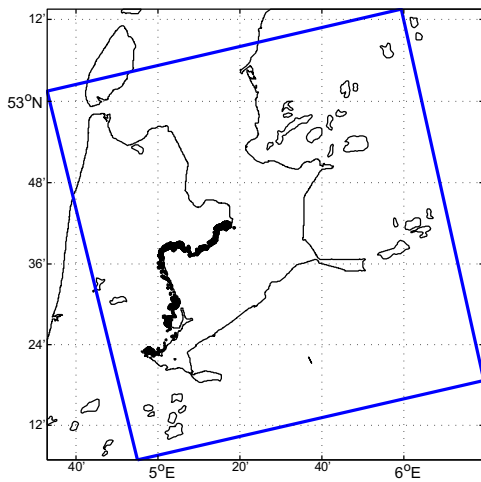


Figure 11: Locations of the SAR image data stack (blue line) and the points where deformations were computed (black dots)

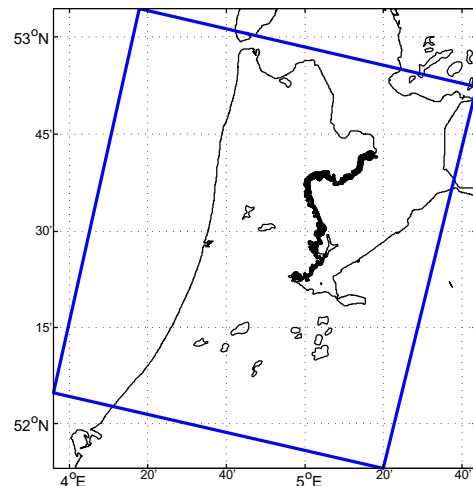


Figure 13: Locations of the SAR image data stack (blue line) and the points where deformations were computed (black dots)

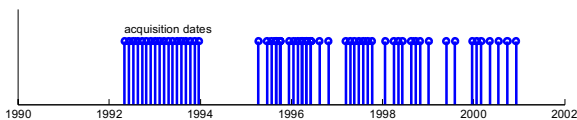


Figure 12: timeline of the data acquisitions. Each acquisition is drawn as a blue line on the horizontal (time) axis.

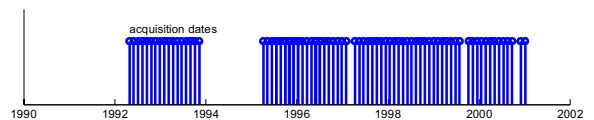


Figure 14: timeline of the data acquisitions. Each acquisition is drawn as a blue line on the horizontal (time) axis.



**Hansje Brinker BV**  
 Oude Delft 175  
 2611 HB Delft  
 T: 015-8200225  
 E: info@hansjebrinker.com

**Opdrachtgever** Deltares  
**Project** Markermeerdijk  
**Project ID**  
**Versie** 1.0  
**Datum** September 14, 2011  
**Periode** 1993-2010

## **C Geohydrologie**

## **Dijken op veen**

**Grondwater Respons Onderzoek peilbuisraaien in de gemeenten Waterland en Zeevang**

drs. L.J.B.G. Spits

1203768-015

**Titel**  
Dijken op veen

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Waterdienst	1203768-015	1203768-015-GEO-0013	18

**Trefwoorden**  
Dijken op Veen, stabiliteit dijken, peilbuismetingen, opdrijven

**Samenvatting**

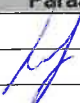
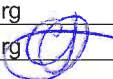



In het kader van het onderzoeksproject 'Dijken op veen' is onderzoek verricht naar de mate waarin peilfluctuaties in het Markermeer leiden tot een respons van de stijghoogte in het Pleistocene zand. Met name gaat het daarbij om de stijghoogte respons ter plaatse van de binnenteen van de dijk. De stijghoogte ter plaatse van de binnenteen is een belangrijke parameter voor het bepalen van het risico op opdrijven, opbarsten en voor het berekenen van de binnenwaartse stabiliteit.

De uitgevoerde metingen, zoals beschreven in paragraaf 2, betreffen de periode van half september tot half november 2011, met een frequentie van één meting per 10 minuten. De meetperiode betreft nog gedurende 7 dagen het zomerpeil waarna, in een periode van ca. 12 dagen het – ongeveer 0,16 m lagere – winterpeil wordt bereikt. Vervolgens treden – ten opzichte van het lagere winterpeil – nog geringe peilfluctuaties op die voornamelijk te maken zullen hebben met neerslag, opwaaiing en verdamping.

Met het oog op alle onzekerheden en onnauwkeurigheden is gemeend om – ten aanzien van dijkveiligheid – uit te gaan van de maximaal gemeten respons van 0,06 m = 38% van de gemeten peilfluctuatie in het Markermeer. De werkelijke respons zal naar verwachting veel geringer zijn.

**Referenties**

RWSWD-2011/1656, zaaknummer 31050474

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	feb. 2012	drs. L.J.B.G. Spits		dr. ir. C. Zwanenburg		ir. J. van Ruijven	
2	jun. 2012	drs. L.J.B.G. Spits		dr. ir. C. Zwanenburg		ir. J. van Ruijven	

**Status**  
definitief



## Inhoud

Lijst van Tabellen	ii
Lijst van Figuren	iii
Lijst van Foto's	iv
<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doel	2
1.3 Relatie met overige rapportages	2
1.4 Werkwijze	2
1.5 Leeswijzer	3
<b>2 Opzet peilbuismeetnet en veldwerk</b>	<b>5</b>
2.1 Algemeen	5
2.2 Peilbuizen op land	6
2.3 Peilbuizen in het Markermeer	7
<b>3 Waterstandsmetingen</b>	<b>9</b>
3.1 Veldwerk waterstandsmetingen	9
3.2 Dataverwerking waterstandsmetingen	9
<b>4 Uitwerking metingen</b>	<b>11</b>
4.1 Hydrogeologische secties	11
4.2 Peilbuismetingen	11
4.3 Analyse metingen	11
4.4 Faseverschuiving	14
<b>5 Samenvatting en conclusies</b>	<b>17</b>
 <b>Bijlage(n)</b>	
<b>A Hydrogeologische kaarten</b>	<b>A-1</b>
<b>B Locaties peilbuizen</b>	<b>B-1</b>
<b>C Meetadata peilbuizen op land</b>	<b>C-1</b>
<b>D Meetadata peilbuizen in Markermeer</b>	<b>D-1</b>
<b>E Hydrogeologische secties peilbuisraaien</b>	<b>E-1</b>
<b>F Metingen peilbuizen raai 1, 3 en 4</b>	<b>F-1</b>

## Lijst van Tabellen

Tabel 2.1	Kenmerken peilbuisraaien	5
Tabel 4.1	Stijghoogteverandering van zomerpeil naar winterpeil in Markermeer. Peilschaal en in de holocene laag op dezelfde locatie.	12
Tabel 4.2	Stijghoogteverandering van zomerpeil naar winterpeil in de peilbuizen in de pleistocene laag in raai 1.	13
Tabel 4.3	Stijghoogteverandering van zomerpeil naar winterpeil in de peilbuizen in de pleistocene laag in raai 3.	14
Tabel 4.4	Stijghoogteverandering van zomerpeil naar winterpeil in de peilbuizen in de pleistocene laag in raai 4 (* is kapotte diver)	14

## Lijst van Figuren

Foto 1.1	Werkplatform met peilbuizen in het Markermeer	12	iv
Foto 2.1	Werkplatform met peilbuizen in het Markermeer		8
Figuur 2.1	Overzichtskaart met de ligging van de verschillende peilbuisraaien	6	
Figuur 4.1	Stijghoogte in de peilschalen in het Markermeer en de bijbehorende ondiepe filters.	12	
Figuur 4.2	Stijghoogten in het pleistoceen (c-filters in raaien 1, 3 en 4).	13	
Figuur 4.3	Signalen in de peilschaal ps1-5-1 en peilfilter in het holoceen 1-5a, ingezoomd op een deel van de periode van peilverandering van zomer naar winterpeil.	15	
Figuur 4.4	Signalen in de c-filters van raai1, ingezoomd op een deel van de periode van peilverandering van zomer naar winterpeil.	15	

## Lijst van Foto's

Foto 1.1 Werkplatform met peilbuizen in het Markermeer

8

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en de Waterdienst van Rijkswaterstaat hebben het voornemen de beschrijving van het sterktegedrag van veen voor het toetsen van de stabiliteit van waterkeringen te verbeteren. Dit heeft geresulteerd in het onderzoeksproject 'Dijken op veen'.

In het verleden werd de sterkte van grond, ten behoeve van de toetsing van de stabiliteit van waterkeringen, bepaald met behulp van de celproef. Recent is consensus ontstaan over het feit dat de celproef geen goede proef is voor het bepalen van de sterkte van grond. Tot op dit moment is er nog geen algemeen geaccepteerde vervanging voor de celproef. De controverse over de parameter bepaling is het grootst voor de sterkte eigenschappen van veen en sterk humeuze klei. De onduidelijkheid over de parameterbepaling zorgt, onder andere voor vertraging van dijkversterkingsprojecten. Een mogelijke wijziging in parameterbepaling op korte termijn zou dan tot gevolg hebben dat recent versterkte dijken of overgedimensioneerd zijn of opnieuw worden afgekeurd. Voor de Waterdienst van Rijkswaterstaat is het van belang dat er duidelijkheid komt in de wijze waarop de sterkte eigenschappen van veen bepaald dienen te worden.

Het hierboven geschetste probleem doet zich onder andere voor bij de Markermeerdijk. Het traject Amsterdam Noord – Hoorn is afgekeurd en dient versterkt te worden. Het versterkingsontwerp heeft geresulteerd in lange stabiliteitsbermen. Langs het traject zijn enkele historische dorpskernen gelegen waar een dergelijke stabiliteitsberm lastig in te passen is. Het afkeuren en het relatief zware ontwerp is opmerkelijk omdat de waterkering in het recente verleden een Zuiderzeedijk is geweest en toen hogere waterstanden heeft gekeerd dan het huidige maatgevend hoogwater. Voor het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier is het belangrijk meer inzicht in het gedrag van het dijklichaam en ondergrond te krijgen zodat waar mogelijk de dijkversterking kan worden geoptimaliseerd. Deze optimalisatie leidt niet alleen tot kostenbesparing, maar maakt ook de omwonenden duidelijk dat alles is gedaan om het landschap te sparen terwijl toch het geëiste veiligheidsniveau is gegarandeerd.

Onderdeel van het onderzoek is de uitvoering van enkele veldproeven op een binnendijs terrein. Door het opwekken van een glijvlak door de veenlaag kan de maximale schuifweerstand van het veen in het veld worden bepaald. Deze veldwaarde van de sterkte kan vervolgens worden vergeleken met de laboratoriumproeven. Aan de hand van deze vergelijking kunnen een aantal vragen rondom de bepaling van de sterkte van veen reeds worden beantwoord. De resterende vragen zijn input voor het geplande vervolgonderzoek.

De lokaal gevonden sterkte zal moeten worden doorvertaald naar de stabiliteit van de waterkering over het traject Hoorn – Amsterdam. Naast de sterkte van de veenlaag is ook de stijghoogte in het pleistocene zand van belang voor de stabiliteit van de waterkering. Immers, indien opdrijven van het slappe lagen pakket tijdens extreme omstandigheden optreedt, levert dit een aanzienlijke reductie van de stabiliteit op.

Dit rapport doet verslag van een onderzoek naar de relatie tussen het peil in het Markermeer en de grondwaterstanden en –stijghoogten binnendijs, met name ter plaatse van de binnenteen van de dijk.

Aangezien tweemaal per jaar de oppervlaktewaterstand in het Markermeer met 20 centimeter wordt gewijzigd (winter- en zomerpeil) kan door het meten van de grondwaterstanden en –stijghoogten gedurende deze wijziging de relatie tussen het Markermeerpeil en binnendijkse grondwaterstanden en –stijghoogten relatief eenvoudig worden afgeleid uit peilbuismetingen. Bovenstaande onderzoeksvraag kan via verschillende wegen en methoden beantwoord worden. De methoden verschillen onderling in opzet, uitgebreidheid, benodigde tijdsduur, kosten en algemene geldigheid van de verkregen resultaten. Op basis van de hiervoor genoemde argumenten is ervoor gekozen om de onderzoeksvraag middels peilbuismetingen te beantwoorden.

In de hierna volgende hoofdstukken worden achtereenvolgens het veldwerk, de (grond)waterstandmetingen, de uitwerking van de metingen en de resultaten gerapporteerd.

## 1.2 Doel

Doel van het onderzoek is het vaststellen van een relatie tussen de waterstand in het Markermeer en de stijghoogte in de grondlagen onder en achter de dijk. Op basis van deze relatie kan worden vastgesteld of er tijdens extreme omstandigheden sprake is van opdrijven van het slappe lagenpakket aan de teen van het dijklichaam.

## 1.3 Relatie met overige rapportages

Het onderzoek wordt in een aantal stappen uitgevoerd. Deze stappen zijn afzonderlijk gerapporteerd. In de analyse die in dit rapport is beschreven komen deze stappen samen. De volgende rapporten zijn in de aanloop naar de analyse van de resultaten opgesteld:

- Plan van Aanpak, documentnummer 1203768-001-GEO-001, d.d. maart 2011, dit document beschrijft de doelen van het onderzoek dijken op veen en geeft hoe de veldproeven aan dit doel bijdragen.
- Dijken op Veen, veldwerk, documentnummer 1203768-004-GEO-0002 (Fugro rap. Nr. 2111-0004-000), d.d. augustus 2011, dit document geeft de resultaten van de veldwerkzaamheden ter verkenning van de ondergrond.
- Dijken op Veen, Ontwerprapport, rapportnummer 1203768-006-GEO-0001, d.d. september 2011, dit rapport beschrijft het ontwerp van de proef, gebaseerd op de resultaten van de terreinverkenning.
- Dijken op Veen, predictierapport, rapportnummer 1203768-007-GEO-0002, 18 november 2011.
- Dijken op Veen, Draaiboek en monitoringsplan, rapportnummer 1203768-003-GEO-0004, d.d. september 2011, dit rapport beschrijft de uitvoeringswijze van de proeven en de benodigde monitoring op basis van het ontwerp van de proeven.
- Factual report opleveren bouwterrein, rapport nummer 1203768-008-GEO-0001 d.d. 27 oktober 2011.
- Factual report opleveren proefopstelling, rapportnummer 1203768-002-GEO-0003 d.d. 7 november 2011.
- Dijken op Veen, factual report uitvoeren proef 1 & 2, rapportnummer 1203768-010-GEO-0001, d.d. oktober 2011.
- Factual report opbouwen proef 3, 4 en 5, rapportnummer 1203768-002-GEO-0004 d.d. 12 december 2011.

## 1.4 Werkwijze

Met behulp van veldmetingen wordt de reactie van de stijghoogte in de ondergrond op de wijziging van het Markermeerpeil tijdens de overgang van zomer- naar winterpeil gemeten en geanalyseerd.

## 1.5 Leeswijzer

In de volgende Hoofdstukken wordt het volgende beschreven:

- Hoofdstuk 2 wordt de opzet van het peilbuismeetnet beschreven.
- Hoofdstuk 3 beschrijft de inwinning van de watergerelateerde metingen.
- Hoofdstuk 4 beschrijft de analyse die op de ingewonnen data is uitgevoerd.
- Hoofdstuk 5 eindigt met de conclusies.





## 2 Opzet peilbuismeetnet en veldwerk

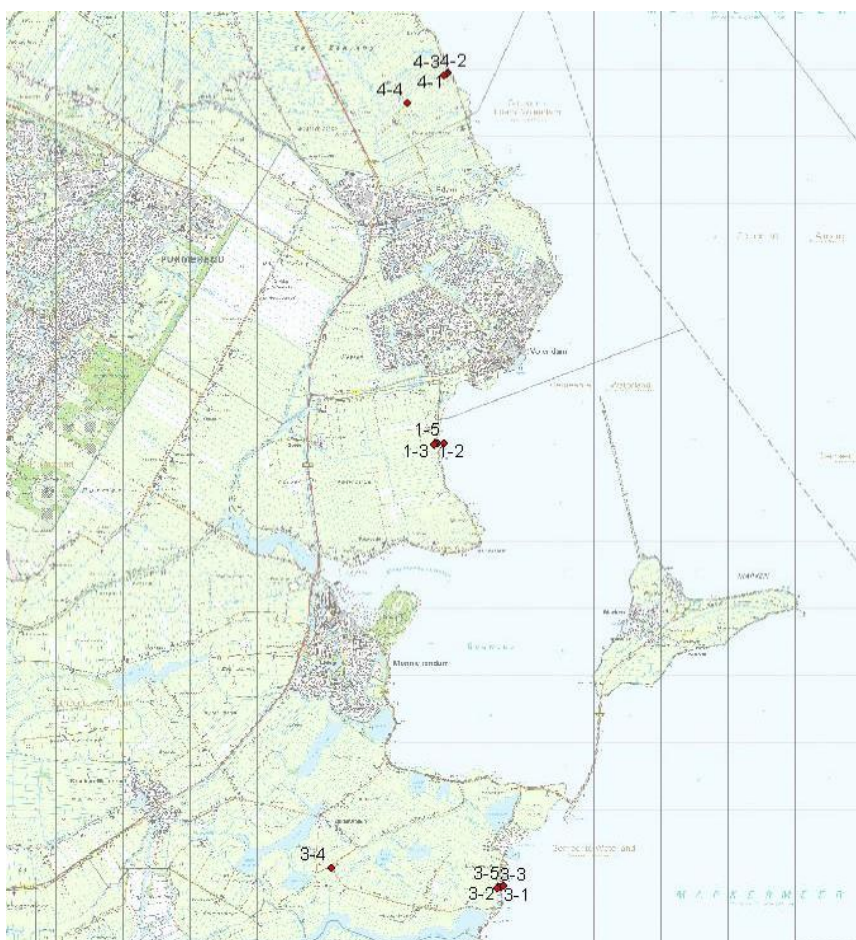
### 2.1 Algemeen

Op basis van de verschillende hydrogeologische omstandigheden langs het dijktraject Amsterdam-Noord – Hoorn (Bijlage A) zijn drie locaties voorzien van een raai met peilbuizen. De locaties van de peilbuisraaien zijn weergegeven in de Figuur 2.1. Gedetailleerde kaarten van de peilbuisraaien zijn te vinden in Bijlage B.

Tabel 2.1 geeft een samenvatting van de belangrijkste kenmerken van de peilbuisraaien. Een geplande meetraai, peilbuisraai 2, kon niet worden gerealiseerd omdat de benodigde toestemmingen en vergunningen niet bijtijds verkregen konden worden.

Raai_ID	Globale locatie	Peilbuis aanwezig in Markermeer	Peilbuis aanwezig op meer dan 500 meter van dijk	Aantal peilbuislocaties
1	Ten zuiden van Volendam	Ja	Nee	4
3	Testlocatie bij Uitdam	Ja	Ja	5
4	Ten noorden van Volendam bij dijkpaal 92	Nee	Ja	4

Tabel 2.1 Kenmerken peilbuisraaien



Figuur 2.1 Overzichtsk kaart met de ligging van de verschillende peilbuisraaien

## 2.2 Peilbuizen op land

De peilbuizen op land zijn tussen 31 augustus en 8 september 2011 geplaatst door Fugro. De geplaatste peilbuizen zijn van het type weggedrukbare filters. Alvorens een filter weggedrukt werd, is ter plekke van alle geplande locaties eerst een sondering met waterspanningsmeting uitgevoerd, om daarmee een goede indruk te krijgen van de grondopbouw en aan de hand daarvan de definitieve niveaus van de peilfilters te bepalen (zie Bijlage C).

Tijdens de planfase is bepaald dat op iedere peilbuislocatie ten minste twee peilfilters op verschillende niveaus geplaatst zouden worden. Bij de naamgeving van de peilfilters zijn de volgende conventies aangehouden:

- Eerste cijfer geeft het volgnummer van de peilbuisraai aan;
- Het tweede cijfer geeft het volgnummer van de peilbuislocatie binnen de raai weer. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het cijfer 5 gereserveerd is voor peilbuislocaties in het Markermeer;
- Na het tweede cijfer volgt een kleine letter a, b of c. Betreffende letter geeft de positie in verticale zin aan van de op de peilbuislocatie geplaatste filters.
  - Letter “a” komt overeen met een peilbuisfilter in de ondiepe waterremmende laag rond NAP – 5 meter (ca. 3 meter beneden maaiveld).

- Letter “b” komt overeen met een peilbuisfilter in een eventueel aanwezige tussenzandlaag.
- Letter “c” komt overeen met een filter in het pleistocene zand.
- De aanduiding “ps” staat voor peilschaal. Deze code wordt in de naamgeving van peilbuislocaties gebruikt om aan te geven dat op betreffende peilbuislocatie ook de nabij gelegen oppervlaktewaterstand wordt gemeten. Betreffende oppervlakte waterstanden kan zowel het Markermeerpeil als het slootpeil zijn.

Na het plaatsen van de peilfilters zijn de peilbuizen boven maaiveld afgewerkt met een beschermkoker. Tot slot zijn de peilfilters geodetisch ingemeten door Fugro Inpark.

In Bijlage C zijn de sonderingen, plaatsingsformulieren van de peilbuizen en de resultaten van geodetische metingen opgenomen.

### **2.3 Peilbuizen in het Markermeer**

Om de relatie tussen de binnendijkse grondwaterstand en de buitendijkse grond- en oppervlaktewaterstand te bepalen, zijn op twee locaties peilbuizen in de bodem van het Markermeer geplaatst, te weten bij de peilbuisraaien 1 en 3.

Per locatie zijn twee peilfilters in de ondergrond geplaatst, te weten rond NAP - 5 meter (holoceen klei/veen pakket) en rond NAP – 19 meter (pleistoceen zandpakket). Daarnaast is per locatie een geperforeerde buis in het water geplaatst om daarin de oppervlaktewaterstand in het Markermeer te meten.

Het plaatsen van de peilbuizen in het Markermeer is tussen 9 en 15 september 2011 uitgevoerd door het werkschip Greta II van Fugro. Voordat begonnen is met het plaatsen van de peilfilters is per locatie eerst een sondering met waterspanningsmeting uitgevoerd. Daarna is middels pulsboren een boorgat gemaakt waarin op twee niveaus peilfilters zijn afgesteld.

Na het plaatsen van de peilfilters zijn de peilbuizen en de meetbuis voor de oppervlaktewaterstand boven water afgewerkt en toegankelijk gemaakt door de stijgbuizen te verbinden aan een werkplatform (Foto 2.1).



Foto 2.1 Werkplatform met peilbuizen in het Markermeer

Tot slot zijn de peilfilters geodetisch ingemeten door Fugro Inpark.

In Bijlage D zijn de sonderingen, boorbeschrijving en plaatsingformulieren van de peilbuizen opgenomen die in het Markermeer zijn geplaatst.

### 3 Waterstandsmetingen

#### 3.1 Veldwerk waterstandsmetingen

Na het gereedkomen van de peilbuizen zijn alle beschikbare peilfilters voorzien van apparatuur welke het mogelijk maakt om automatisch de waterstand te meten en de data op te slaan. Voor dit project is gebruik gemaakt van zogenaamde diver®<sup>1</sup> sensoren die in de peilbuizen zijn afgehangen, beneden de laagst te verwachten grondwaterstand. Met deze sensoren wordt de waterdruk en luchtdruk boven de sensor gemeten. Door eveneens de luchtdruk te meten en deze te verrekenen met de metingen in de peilbuizen, wordt de waterdruk verkregen.

Daarnaast zijn ook divers gebruikt om de oppervlaktewaterstanden in het Markermeer en enkele sloten te registreren.

Op 17 september 2011 waren alle divers geplaatst en vanaf dat moment is gedurende 2 maanden iedere 10 minuten de waterstand gemeten.

#### 3.2 Dataverwerking waterstandmetingen

Na afloop van de metingen zijn de verkregen ruwe data bewerkt en tevens gecontroleerd op eventuele afwijkingen. Daarna zijn de data ingevoerd in een MS-SQL server database om beschikbaar gesteld te worden voor analyses en berekeningen.

---

1. Diver® is een geregistreerd handelsmerk van Schlumberger Water Services



## 4 Uitwerking metingen

### 4.1 Hydrogeologische secties

Om de samenhang tussen de waterstandsmetingen en de opbouw van de ondergrond sneller en beter te begrijpen is voor iedere peilbuisraai een hydrogeologische sectie gemaakt (bijlage E). In deze secties is voor iedere peilbuis de grondopbouw op basis van de sondering weergegeven en tevens de afstelling van de verschillende peilbuisfilters.

### 4.2 Peilbuismetingen

In Bijlagen F1, F2 en F3 zijn alle waterstandsmetingen weergegeven voor de raaien 1, 3 en 4. De grafieken zijn zodanig geordend dat deze corresponderen met de hydrogeologische secties in Bijlage E, wat de leesbaarheid ten goede komt.

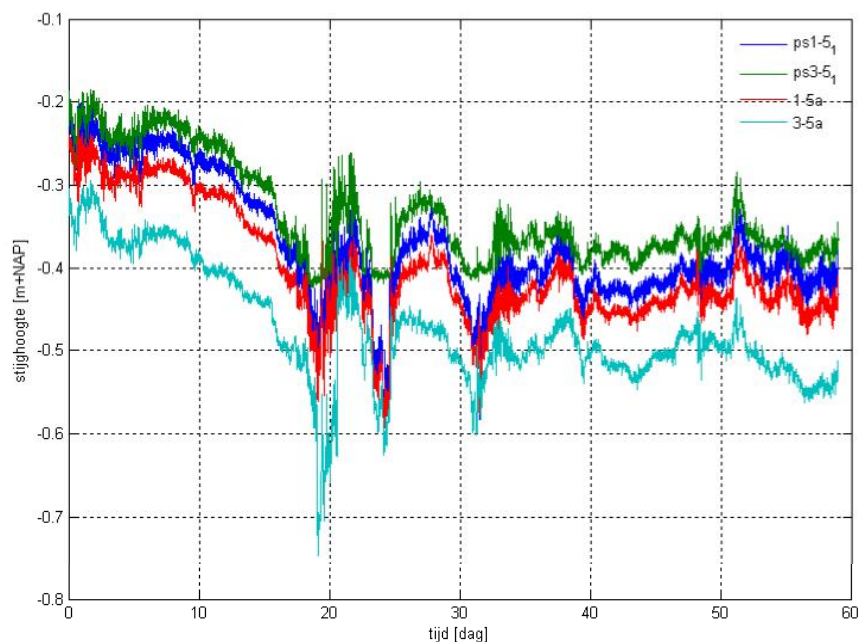
Bijvoorbeeld, in de bijlage E voor raai 1 zijn er vier secties van rechts naar links gelabeld 1-5, 1-1, 1-2, 1-3. Deze labels corresponderen met die van de metingen weergegeven in Bijlage F1 eveneens van rechts naar links weergegeven. Van boven naar beneden zijn in F1 de filters weergegeven, bovenste rij correspondeert met de peilschalen (label "ps"), de middelste rij met de ondiepe filters in het holoceen (label a), de onderste rij met de diepe filters in pleistoceen (label c). De precieze filterdieptes zijn terug te vinden in Bijlage E.

Voor raai 3 en 4 is de presentatie analoog. In raai 4 zijn op 2 locaties ook "b" filters aanwezig die zich op een diepte van ca -10 m bevinden, tussen de ondiepe "a" en diepe "c" filters in. De locaties van de "b" filters is weergegeven in Bijlage E voor raai 4.

De stijghoogte is weergegeven in m t.o.v. NAP en de tijd is in dagen vanaf het begin van de metingen op 17 september 2011.

### 4.3 Analyse metingen

Voor raai 1 en 3 zijn er peilschalen in het Markermeer beschikbaar (ps1-5\_1 en ps3-5\_1 zie Bijlage F1 en F2). In onderstaande Figuur 4.1 zijn deze signalen bij elkaar geplot samen met de gemeten stijghoogten in de "a" filters (locatie 1-5, filter "a" en 3-5 filter "a"). De signalen zien er qua vorm hetzelfde uit. Onderlinge correlatie van deze signalen resulteert in correlatiecoëfficiënten die tussen 0.93 en 0.99 liggen. De signalen zijn onderling dus sterk gecorreleerd. De stijghoogte in het Markermeer heeft op twee verschillende locaties een beeld dat sterk overeenkomt. De "a" filters liggen in het holoceen ter plaatse van de peilschalen op ca NAP -5 m. Deze volgen ook de stijghoogte in het Markermeer qua vorm maar liggen in absolute zin ongeveer 10 cm lager, hetgeen duidt op inzijging.



Figuur 4.1 Stijghoogte in de peilschalen in het Markermeer en de bijbehorende ondiepe filters.

Zoals aangegeven zijn de metingen begonnen 17 september 2011. In Figuur 4.1 is duidelijk de peilverandering te zien van zomer- naar winterpeil. De eerste 7 dagen hebben nog zomerpeil, daarna is er een daling waarna het peil gemiddeld lager ligt vanaf circa 25 dagen. Om te bepalen wat het waterstandsverschil is in het Markermeer tussen de zomer- en winterperiode zijn gemiddelde stijghoogten over de periode van 0 t/m 7 dagen (zomer) en van 25 t/m 60 dagen (winter) bepaald. Deze gemiddelden zijn van elkaar afgetrokken om het verschil ( $\Delta\phi$ ) tussen zomer en winter te krijgen. Het resultaat voor de vier signalen uit Figuur 4.1 is weergegeven in onderstaande Tabel 4.1.

naam filter/ peilschaal	$\Delta\phi$ [m]
ps3-5_1	-0.14
3-5a	-0.15
ps1-5_1	-0.16
1-5a	-0.15

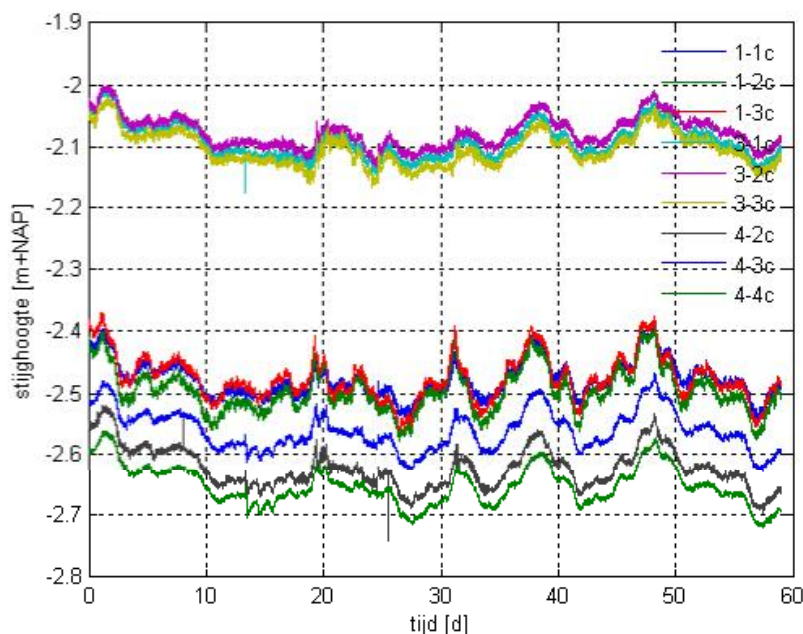
Tabel 4.1 Stijghoogteverandering van zomerpeil naar winterpeil in Markermeer. Peilschaal en in de holocene laag op dezelfde locatie.

Het peil in het Markermeer is gemiddeld 15 cm gedaald en de “a” filters in het holoceen in het Markermeer laten ook een daling zien van 15 cm.

De stijghoogten in alle “c” filters in het pleistoceen uit Bijlagen F1 t/m F3 zijn samen weergegeven in Figuur 4.2. Filters 4-1c, 3-5c zijn niet geplot. In geval van 4-1c is bekend dat de diver kapot was. Filter 3-5c vertoont ook sprongen die onrealistisch groot zijn. De stijghoogte in raai 3 ligt duidelijk hoger, ongeveer 40 cm, ten opzichte van de raaien 1 en 4. Hoewel dit lijkt op een onbetrouwbare meting, bijvoorbeeld als gevolg van een foutief uitgevoerde ijking, blijkt dit gedrag in overeenstemming te zijn met gegevens van de



Grondwaterkaart van Nederland voor dit gebied. De betreffende metingen worden daarom als betrouwbaar beschouwd.



Figuur 4.2 Stijghoogten in het pleistoceen (c-filters in raaien 1, 3 en 4).

De signalen in de c-filters zijn ook goed gecorreleerd. Voor raai 1 onderling worden correlatiecoëfficiënten gevonden tussen 0.95 en 0.98. Voor raai 3 tussen 0.97 en 0.98 en voor raai 4 tussen 0.98 en 0.99. Tussen de raaien 1 en 4 onderling ligt de correlatie tussen 0.86 en 0.95. Raai 3 correleert wat minder met raaien 1 en 4, met coëfficiënten tussen 0.70 en 0.88.

Voor deze c-filters zijn ook de gemiddelde stijghoogten bepaald in de zomer- en winterperiode en daarvan het verschil  $\Delta\phi$ . De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4.2 t/m Tabel 4.4. De maximum daling van zomer naar winter die in de c-filters gevonden wordt is 6 cm. De daling neemt globaal gezien af naarmate de afstand tot het Markermeer groter wordt. In de tabellen is de bovenste rij het dichtst bij het Markermeer gelegen en naar beneden toe zijn de filters weergegeven die zich verder van het Markermeer af bevinden.

Voor raai 1 wordt gevonden dat maximaal  $6/16=38\%$  van de peilverandering van het Markermeer waargenomen wordt in het pleistoceen (voor raai 3 is dit minder maximaal  $5/15=33\%$ ). Er kan geconcludeerd worden dat het effect van de peilverandering in het Markermeer maximaal 38% doorwerkt in de pleistocene laag.

naam filter	$\Delta\phi$ [m]
1-5c	-0.06
1-1c	-0.03
1-2c	-0.02
1-3c	-0.04

Tabel 4.2 Stijghoogteverandering van zomerpeil naar winterpeil in de peilbuizen in de pleistocene laag in raai 1.

naam filter	$\Delta\phi$ [m]
3-5c	-0.05
3-1c	-0.04
3-2c	-0.03
3-3c	-0.04
3-4c	-0.02

Tabel 4.3 Stijghoogteverandering van zomerpeil naar winterpeil in de peilbuizen in de pleistocene laag in raai 3.

naam filter	$\Delta\phi$ [m]
4-1c	*
4-2c	-0.06
4-3c	-0.04
4-4c	-0.05

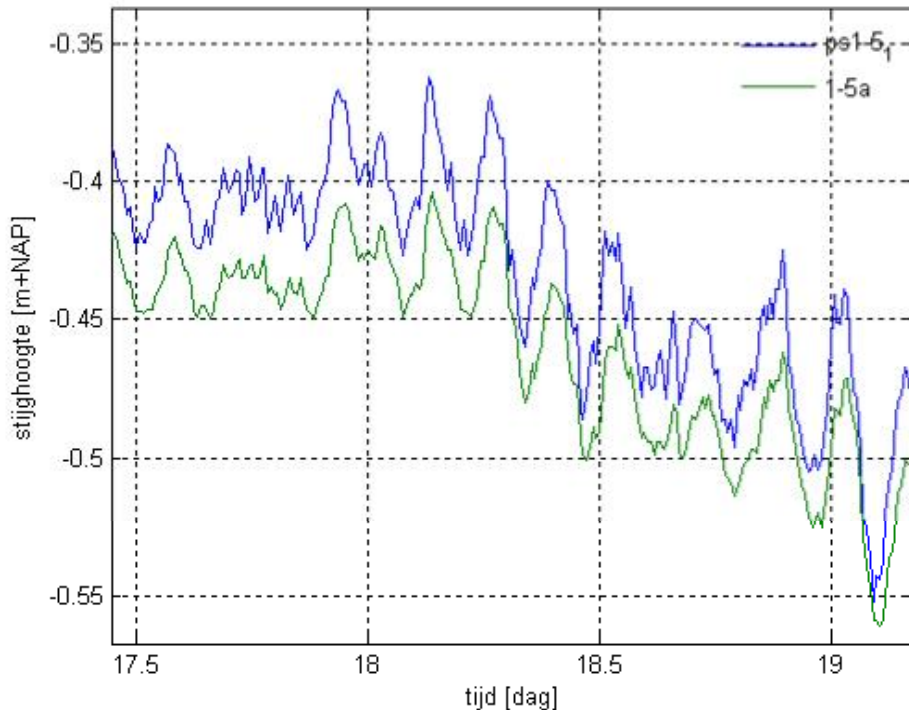
Tabel 4.4 Stijghoogteverandering van zomerpeil naar winterpeil in de peilbuizen in de pleistocene laag in raai 4  
(\* is kapotte diver)

De stijghoogten in de a-filters in het holoceen in de verschillende raaien correleren minder met elkaar en het trekken van een directe conclusie over het gedrag is niet eenvoudig. Wel kan gezien worden dat de stijghoogte in de a-filters in het holoceen duidelijk hoger ligt dan die de stijghoogte in de c-filters in welke in pleistoceen geplaatst zijn. In raai 1 is dit circa 1 m hoger, in raai 3 circa 60 cm (met uitzondering van filter 3-4a die circa 10 cm hoger ligt dan 3-4c) en in raai 4 circa 30 cm hoger. Het gebied is een inzigtgebied.

#### 4.4 Faseverschuiving

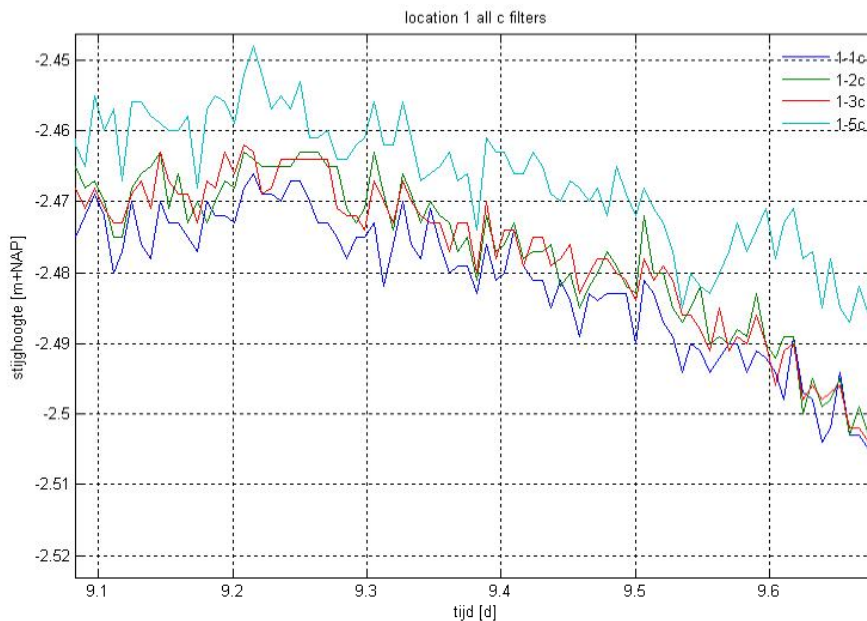
In het voorgaande is geconstateerd dat de peilschalen in het Markermeer en de filters in het holoceen in het Markermeer sterk gecorreleerd zijn. De signalen in de filters in het pleistoceen zijn ook sterk gecorreleerd. De vraag is of er sprake is van een tijdsvertraging tussen signaal in het Markermeer en het signaal in het holoceen en tegelijkertijd of er tijdsvertraging is in het pleistoceen tussen de filters nabij het Markermeer en diegene die zich verder weg bevinden.

Om dit te bestuderen zijn de signalen in raai 1 bekeken. In Figuur 4.3 zijn de signalen in de peilschaal ps1-5-1 en het peilfilter in het holoceen 1-5a, ingezoomd op een deel van de periode van peilsverandering van zomer naar winterpeil. Als gekeken wordt naar de dalen en pieken is er soms een klein faseverschil zichtbaar. Op momenten komt de piek in het holoceen (ps1-5a) één sample later dan die in het Markermeer (1-5a). Er is gemeten met 10 minuten intervallen. Sommige pieken/dalen komen op hetzelfde sample. Dus, indien er al sprake is van een faseverschuiving, dan bedraagt deze minder dan 10 minuten.



Figuur 4.3 Signalen in de peilschaal ps1-5-1 en peilfilter in het holoceen 1-5a, ingezoomd op een deel van de periode van peilverandering van zomer naar winterpeil.

Ingezoomde signalen in de c-filters zijn weergegeven in Figuur 4.4. Het is niet waarneembaar binnen de samplefrequentie of buizen dicht bij het Markermeer eerder reageren dan buizen verder weg. Veel pieken/dalen vallen op hetzelfde sample.



Figuur 4.4 Signalen in de c-filters van raai1, ingezoomd op een deel van de periode van peilverandering van zomer naar winterpeil.



## 5 Samenvatting en conclusies

De uitgevoerde metingen, zoals beschreven in Hoofdstuk 2 en 3, betreffen de periode van half september tot half november 2011, met een frequentie van één meting per 10 minuten. Hierdoor wordt een zeer nauwkeurig beeld verkregen van het verloop van de waterstanden en stijghoogten. De metingen zijn verricht met zogenaamde “divers” met een meetresolutie in de orde van twee mm. De meetnauwkeurigheid ligt in de orde van één cm.

De meetperiode betreft nog gedurende 7 dagen het zomerpeil waarna, in een periode van circa 12 dagen het – ongeveer 0,16 m lagere – winterpeil wordt bereikt. Vervolgens treden – ten opzichte van het lagere winterpeil – nog geringe peilfluctuaties op die voornamelijk te maken zullen hebben met neerslag, opwaaiing en verdamping.

De interpretatie heeft als volgt plaatsgevonden:

- Om aannemelijk te maken dat de gemeten respons inderdaad oorzakelijk samenhangt met de gemeten fluctuaties in het Markermeer, is voor elke meetreeks in het pleistoceen de correlatiecoëfficiënt tussen meetreeks en Markermeer peil vastgesteld. De correlatie tussen het Markermeerpeil en de stijghoogten van peilfilters in het Pleistocene zand is hoog. Uit berekeningen volgen zelfs correlatiecoëfficiënten van meer dan 0,93 -0,99 . Hieruit is geconcludeerd dat de gemeten stijghoogteschommelingen in het Pleistocene zand nagenoeg volledig te verklaren zijn uit veranderingen in het peil van het Markermeer.
- Voor de verschillende peilbuizen én voor het Markermeerpeil is het gemiddelde bepaald voor de periode waarin het zomerpeil werd gehandhaafd (eerste 7 dagen) en de periode waarin het winterpeil was bereikt. De respons (in %) kan hieruit eenvoudig worden bepaald.

Uit de resultaten van de gerapporteerde interpretaties zijn de volgende conclusies getrokken:

- Tijdens de meetperiode heeft een verlaging van het peil in het Markermeer van 0,16 m plaatsgevonden.
- Als gevolg van het verlagen van het peil in het Markermeer is de stijghoogte in het pleistoceen met 0,06 m verlaagd.
- De invloed van deze verlaging in het Markermeer leidt tot een verlaging van de stijghoogte in het Pleistoceen, ter plaatse van de binnenteen van de dijk, met 0,02 m tot 0,04 m. Op één locatie is 0,06 m verlaging gemeten.

Bij de voorgaande resultaten kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- Ondanks dat een goede correlatie tussen het peil van het Markermeer en de stijghoogte in het pleistoceen is gevonden, blijkt praktisch de causaliteit van veranderingen <0,05 m lastig eenduidig vast te stellen.
- Bij het interpreteren is ook gekeken naar eventuele faseverschuiving (naijlingseffect). Hieruit blijkt dat er nauwelijks faseverschuiving optreedt.
- Bij de interpretatie is er van uitgegaan dat het peil in het Markermeer een lineair verband heeft met de respons.

Met het oog op alle genoemde onzekerheden en onnauwkeurigheden is gemeend om – ten aanzien van dijkveiligheid – uit te gaan van de maximaal gemeten respons van 0,06 m = 38% van de gemeten peilfluctuatie in het Markermeer. De werkelijke respons zal naar verwachting veel geringer zijn.

## **A Hydrogeologische kaarten**

Bron: Data afkomstig van REGIS 2 kartering uitgevoerd door TNO

0 4,350 8,700 17,400 Meters

### Legend

### Dikte Deklaag (centimeter)

#### VALUE

1,182 - 1,300

1,300.000001 - 1,450

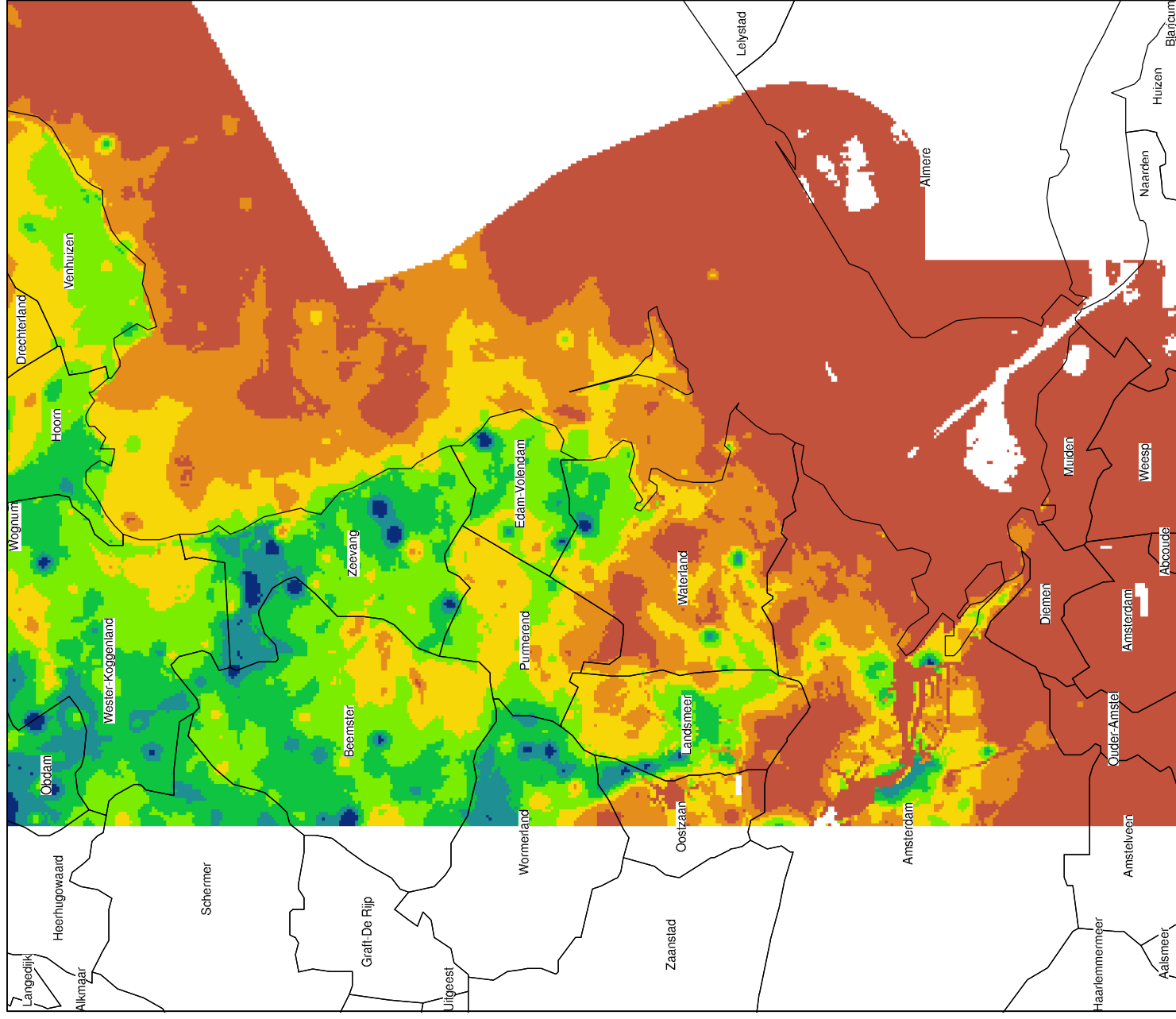
1,450.000001 - 1,600

1,600.000001 - 1,750

1,750.000001 - 1,900

1,900.000001 - 2,050

2,050.000001 - 2,200



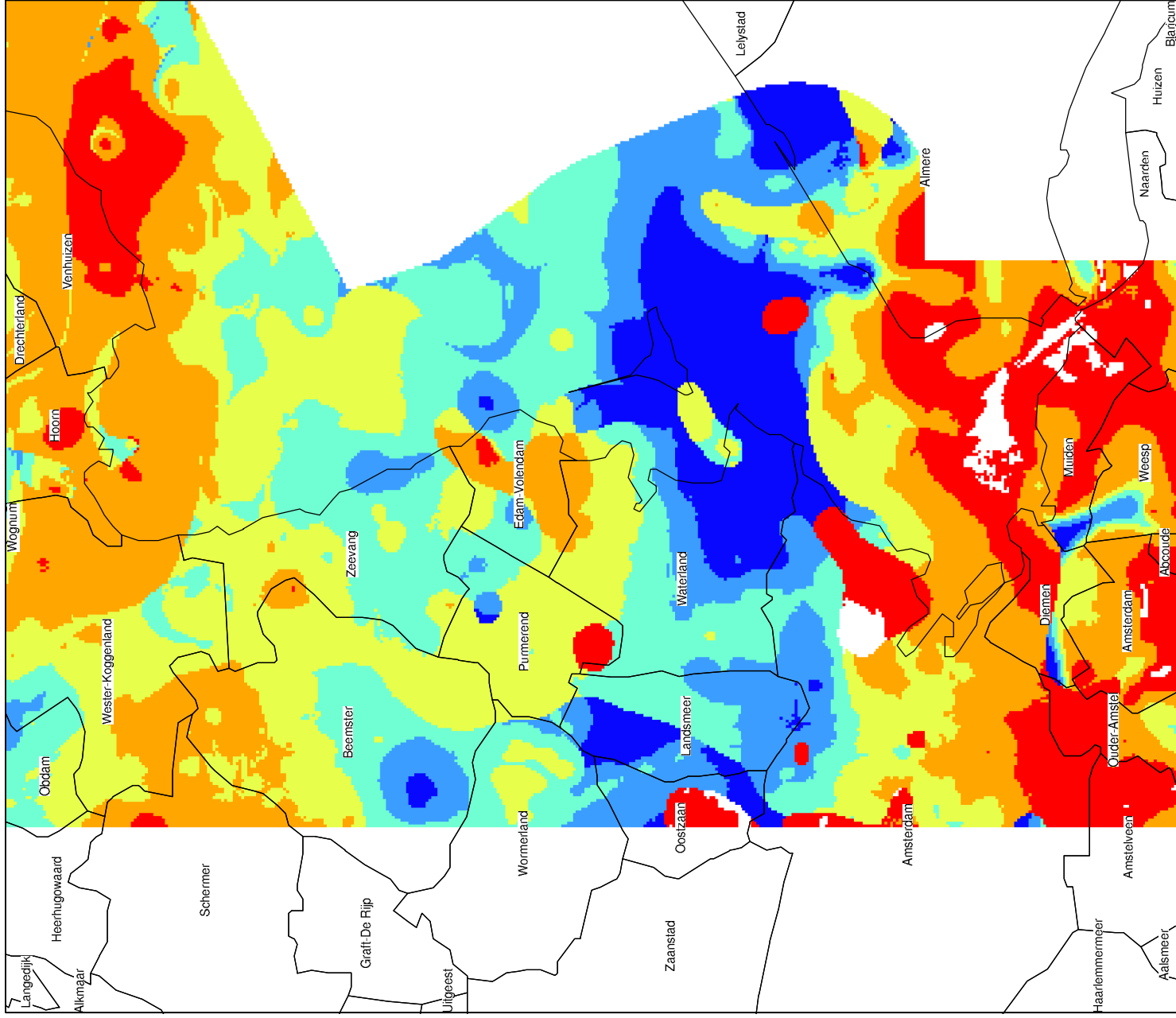
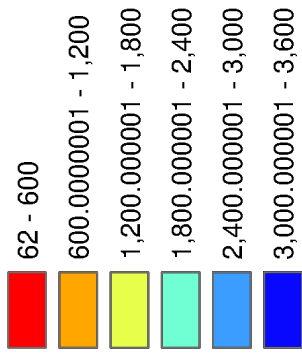


0 4,350 8,700 17,400 Meters

### Legend

### Dikte WVP1 (centimeter)

VALUE



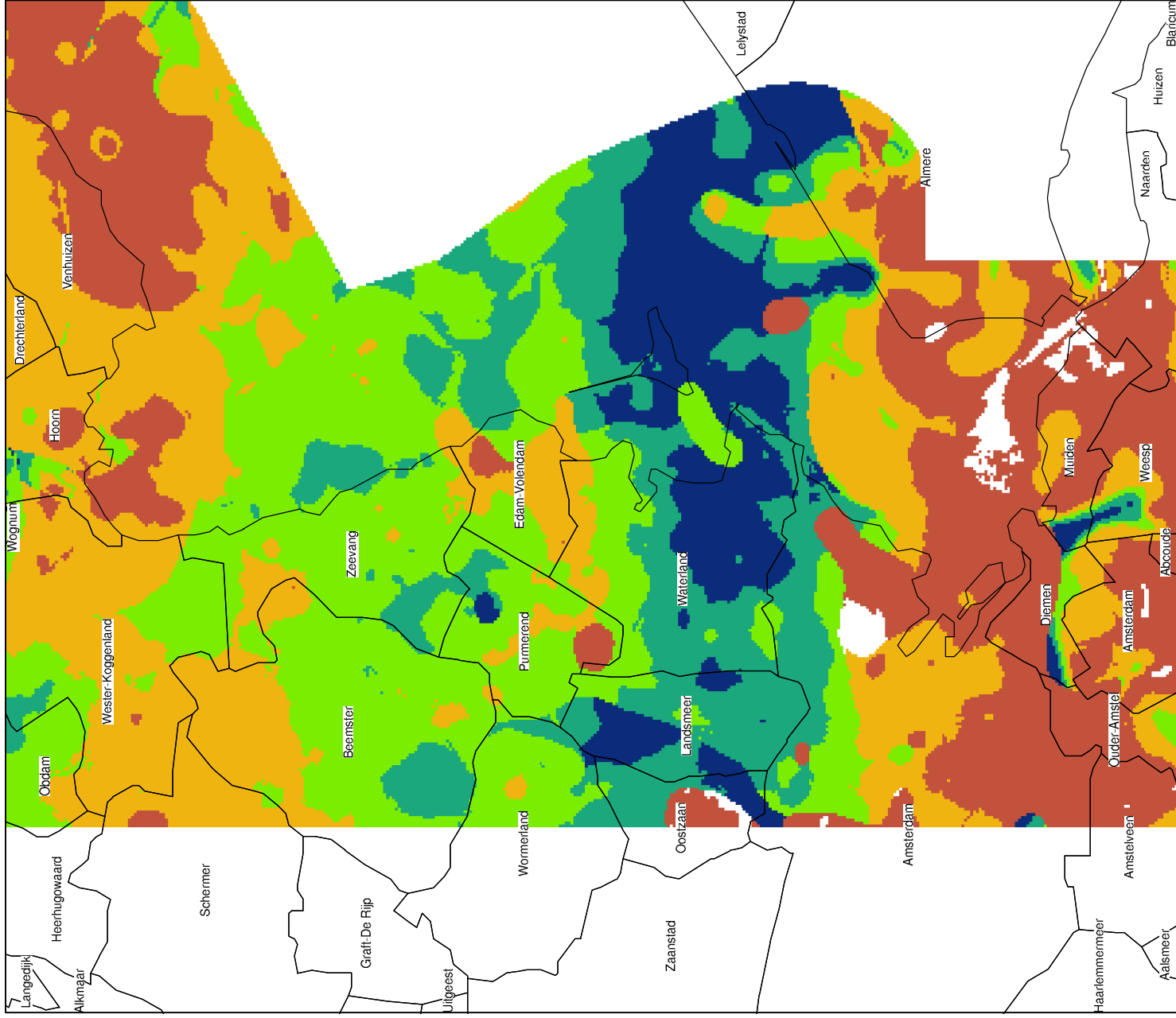
0 4,350 8,700 17,400 Meters

### Legend

### kD-waarde (m2/dag) WVP1

#### VALUE

- 8 - 100
- 100.0000001 - 200
- 200.0000001 - 300
- 300.0000001 - 400
- 400.0000001 - 500



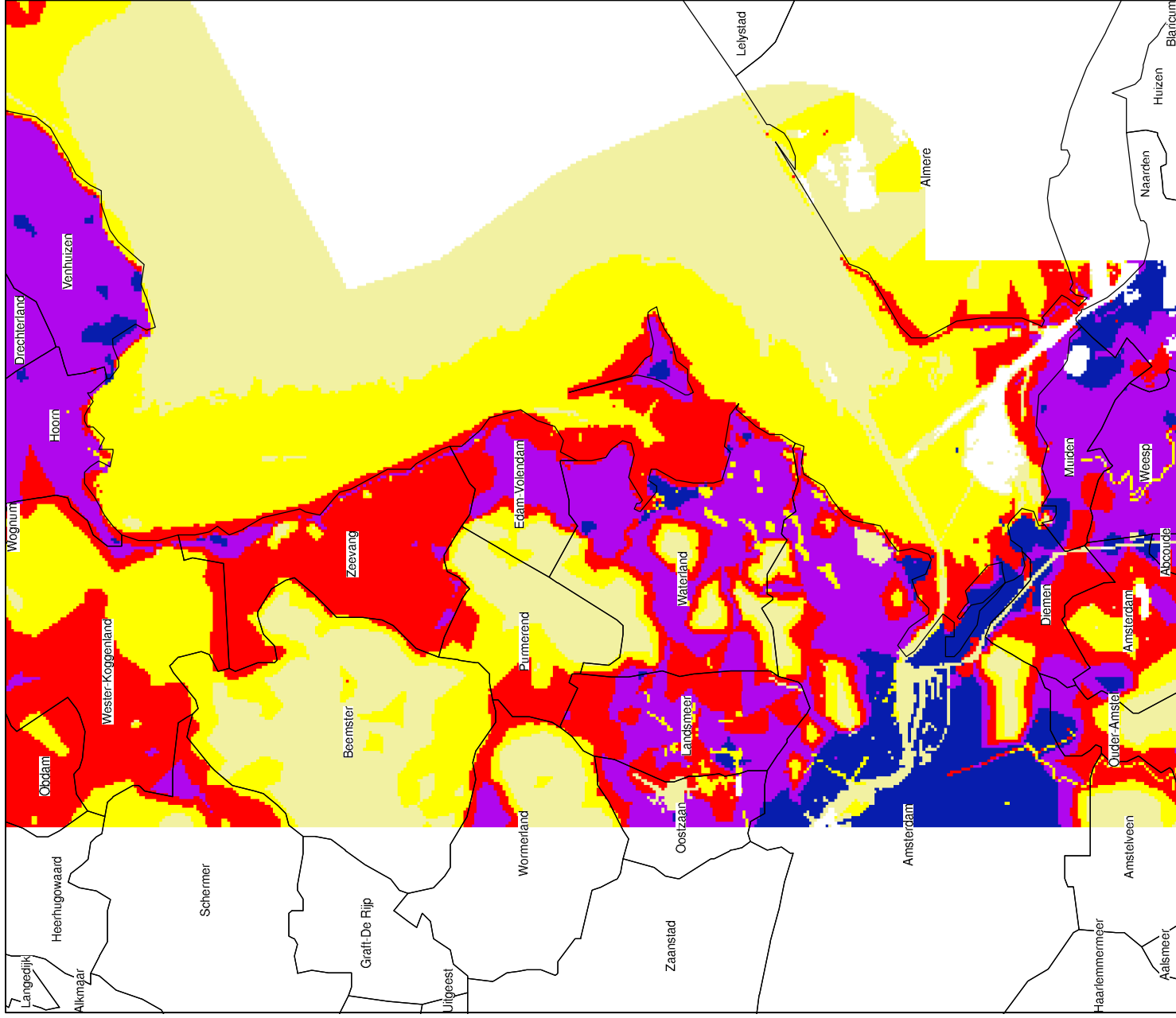
0 4,350 8,700 17,400 Meters

### Legend

### Top Deklaag t.o.v. NAP in centimeter

VALUE

- 432 - -350
- 350 - -250
- 250 - -150
- 150 - -50
- 50 - 0



0 4,350 8,700 17,400 Meters

### Legend

### Top WVP t.o.v. NAP in centimeter

VALUE

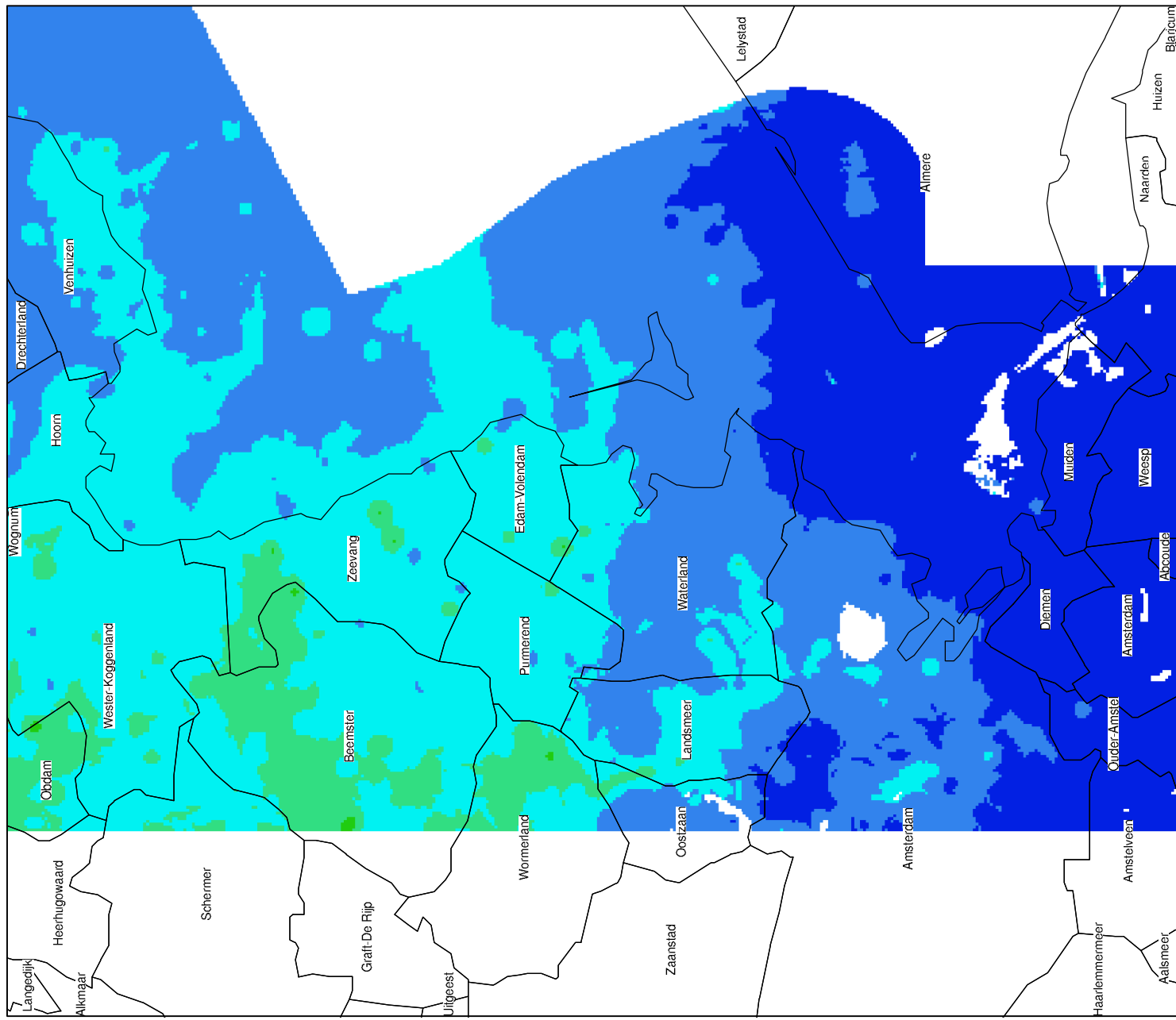
-2,749 - -2,500

-2,499.999999 - -2,100

-2,099.999999 - -1,700

-1,699.999999 - -1,300

-1,299.999999 - -900



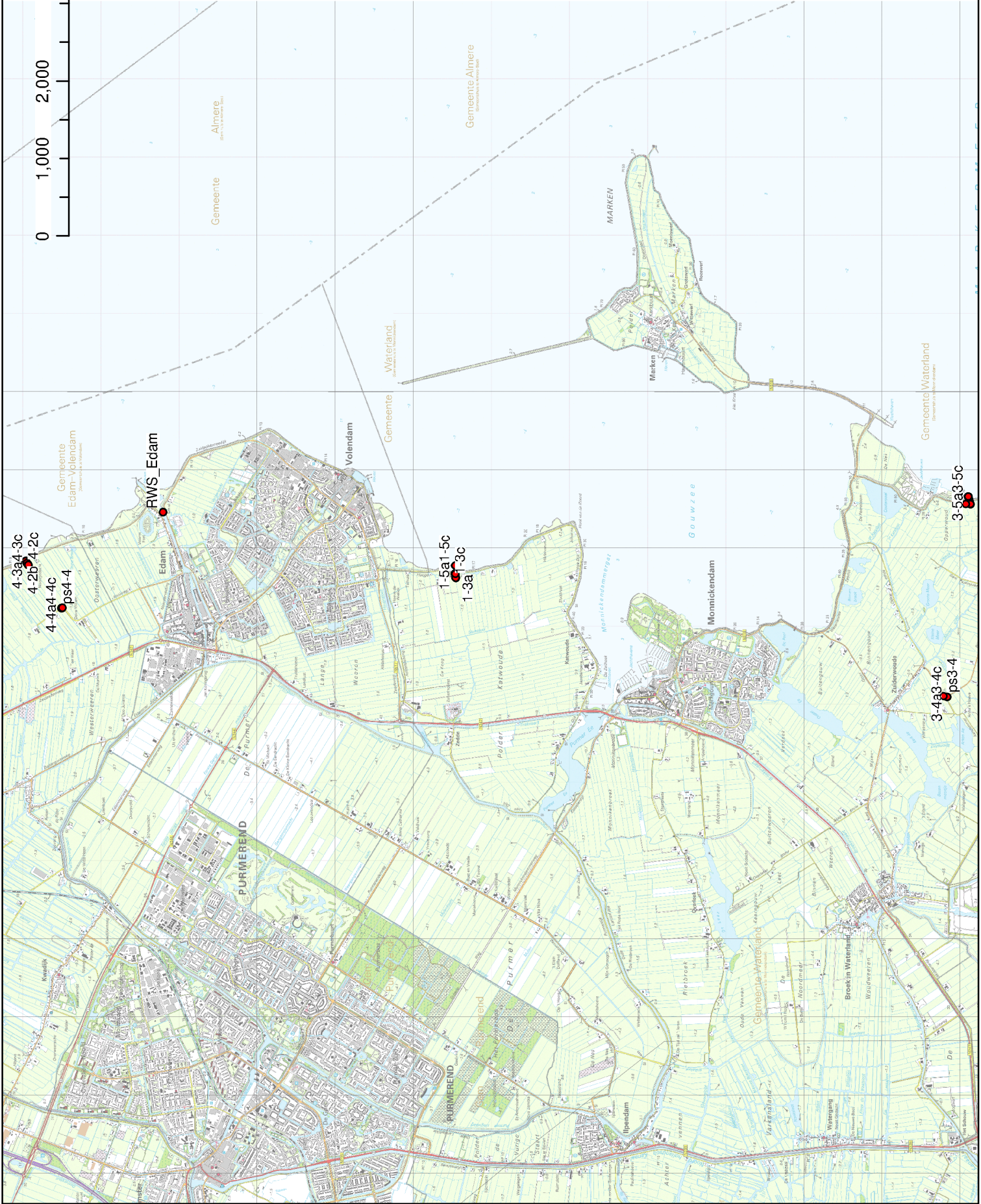
## **B Locaties peilbuizen**

4,000 Meters

2,000

1,000

0



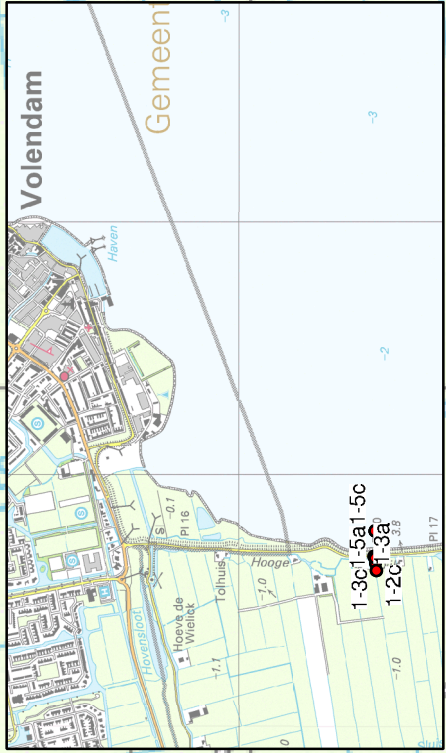
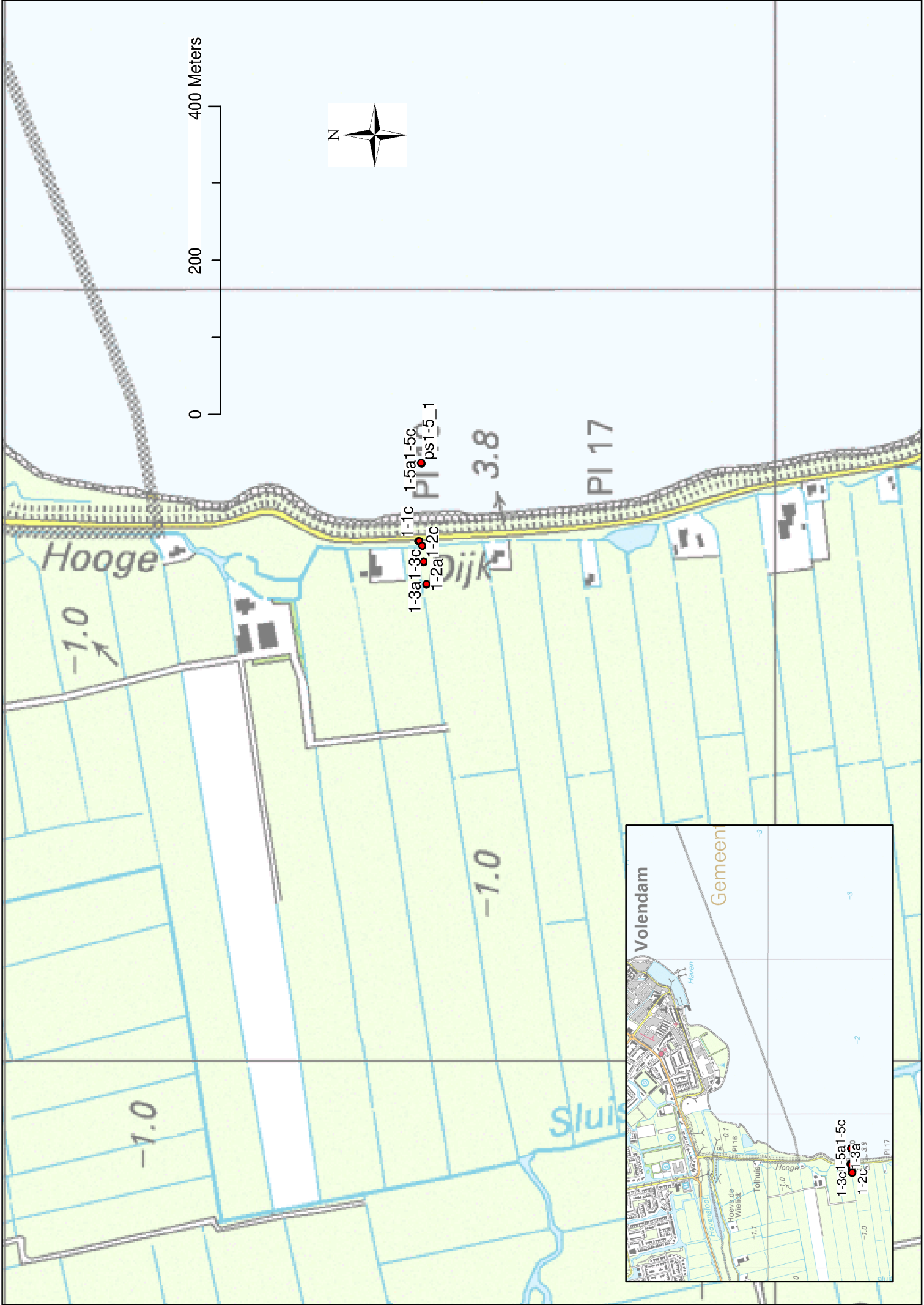
4-3a1-3c  
4-2b1-4-2c  
4-4a1-4c  
ps4-4

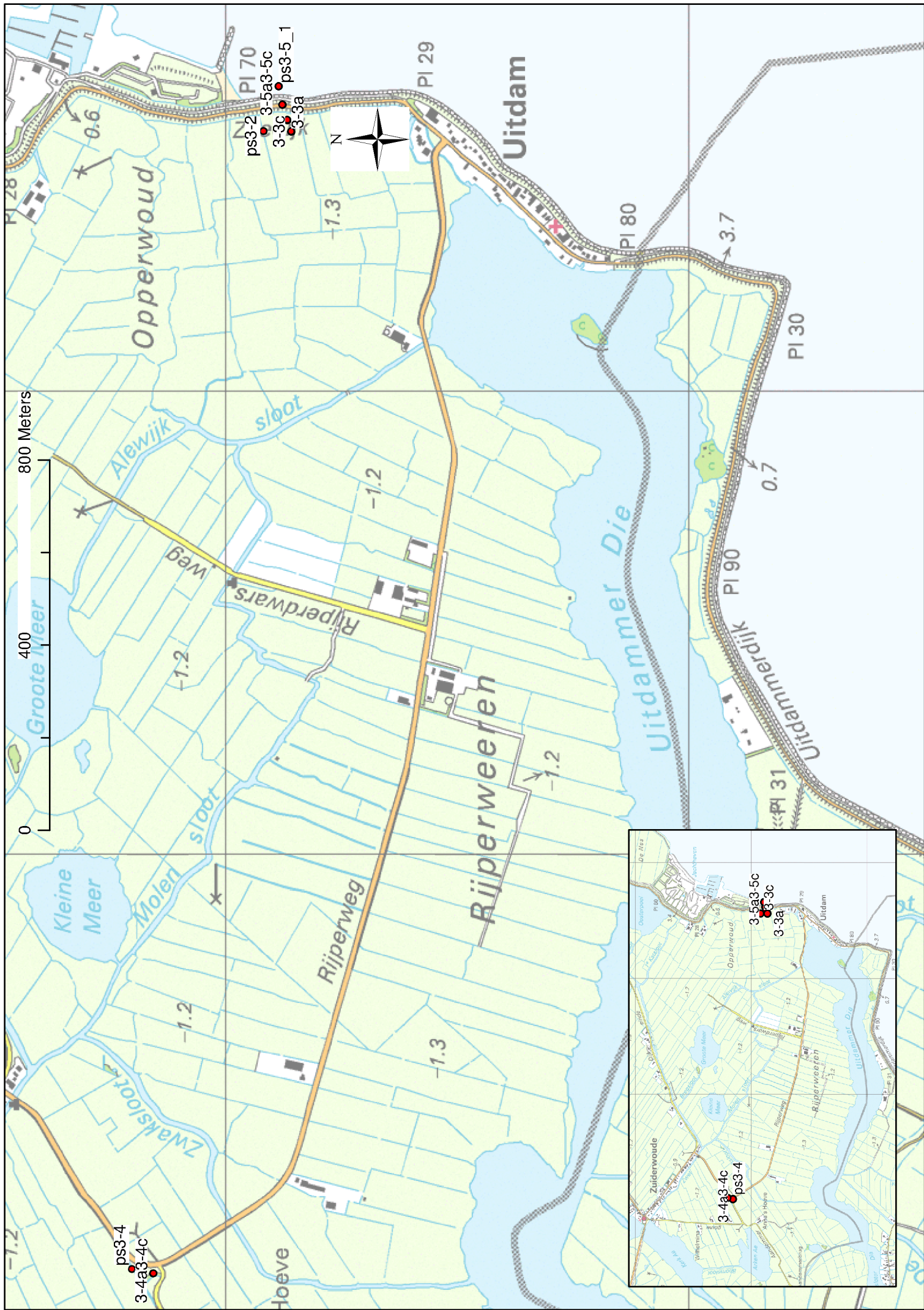
RWS\_Edam

1-5a1-5c  
1-3a1-3c

3-4a3-4c  
ps3-4

3-5a3-5c





ps3-2  
3-5a3-5c  
3-3c  
ps3-5\_1  
3-3a

PI 29

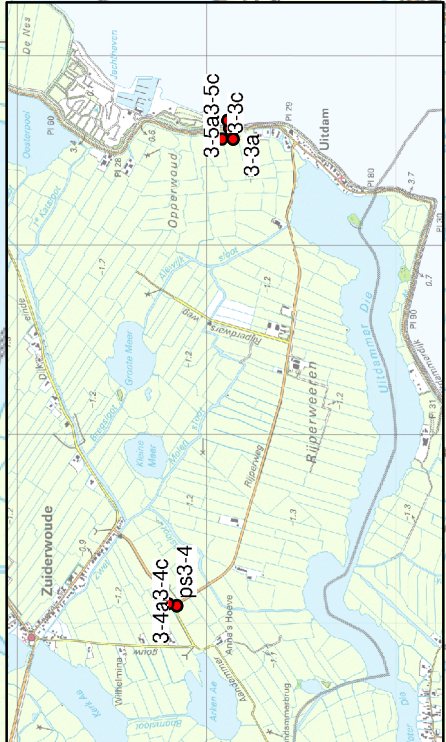
PI 80

PI 30

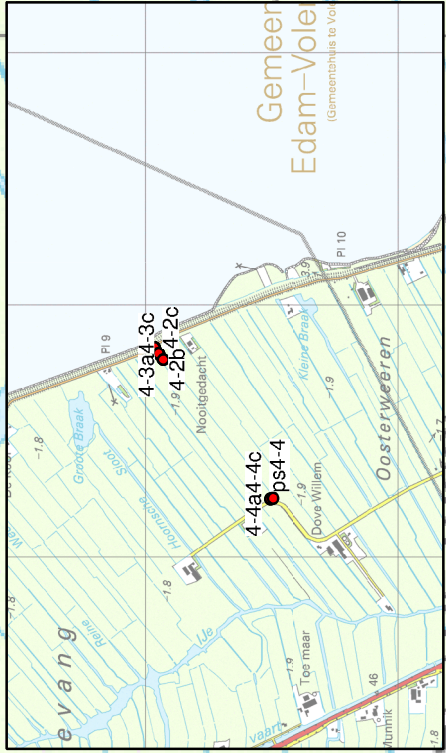
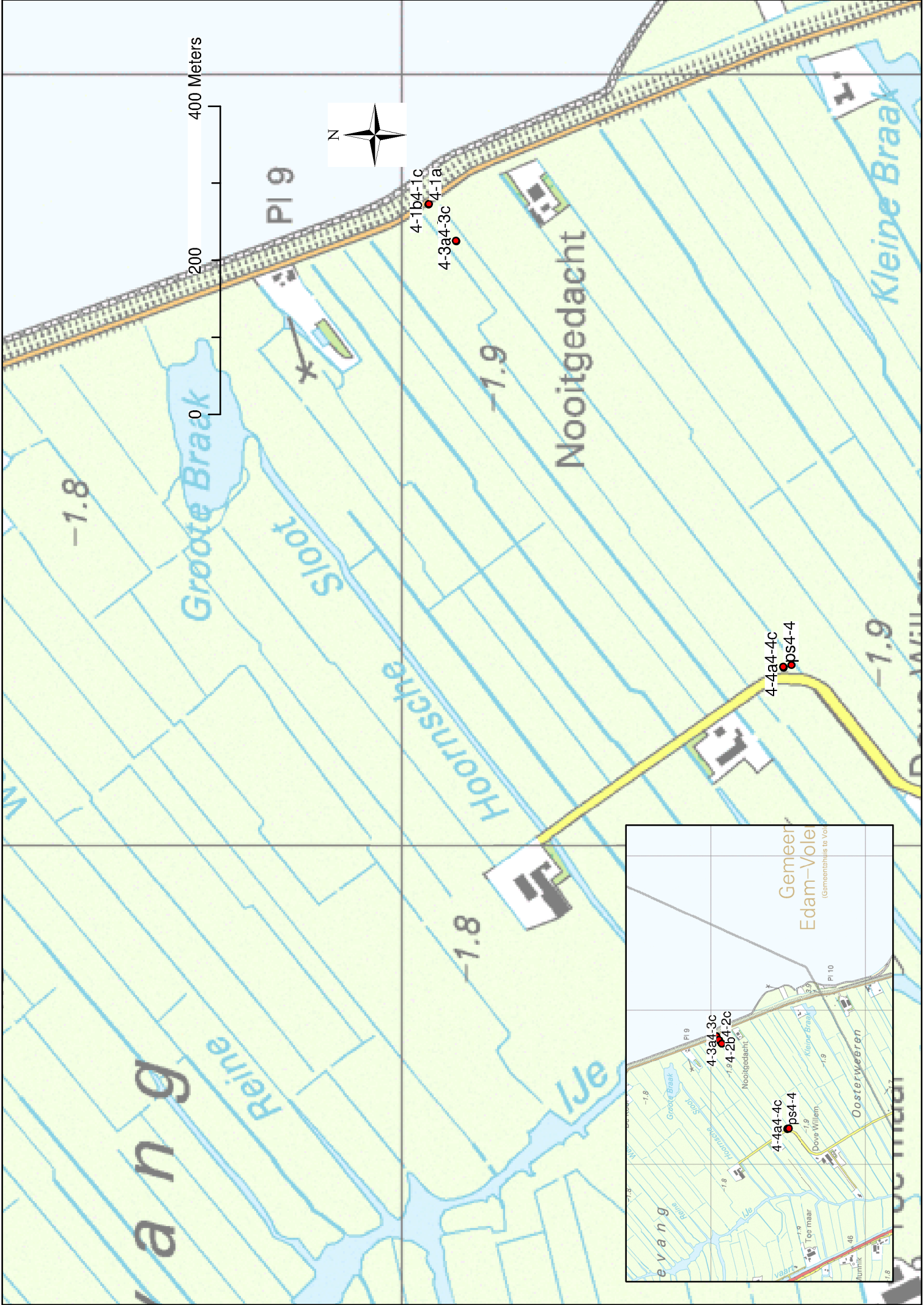
PI 90

PI 13

ps3-4  
3-4a3-4c







## **C Meetadata peilbuizen op land**







**WEGDRUKBARE PEILBUIZEN**

<b>Opdrachtnummer:</b>	2111-0004-001		
<b>Lokatie:</b>	Proefvak Markermeerdijk Fase II		
<b>Waarnemer:</b>	Buvens		
<b>Opdrachtgever:</b>	DELTARES		
<b>Datum plaatsing:</b>	8-9-2011	8-9-2011	
<b>Peilbuisnummer:</b>	PB 3-4A	PB 3-4C	
<b>Materiaal peilbuis / filter:</b>	HDPE	HDPE	
<b>Binnen- / Buitendiameter:</b>	26 / 32	26 / 32	
<b>Bovenkant Peilbuis t.o.v. MV</b>	0.35	0.35	
<b>Bovenkant Filter ( m - MV )</b>	3.00	11.40	
<b>Onderkant Filter ( m - MV )</b>	4.00	12.40	
<b>Filtergrind van...tot...(mv-m):</b>	4.00-3.00	12.40-11.40	
<b>Kleiafd.van...tot...(mv-m):</b>	3.00-2.00	11.40-6.40	
<b>Afwerking peilbuis:</b>	Koker	Koker	
<b>X:</b>	131094,977	131094,812	
<b>Y:</b>	493156,055	493155	
<b>Z:</b>		-1,604	
<b>Z bkb:</b>	-1,212	-1,211	
<b>Opmerkingen</b>			



## WEGDRUKBARE PEILBUIZEN

<b>Opdrachtnummer:</b>	2111-0004-001						
<b>Lokatie:</b>	Proefvak Markermeerdijk Fase II						
<b>Waarnemer:</b>	Buvens						
<b>Opdrachtgever:</b>	DELTARES						
<b>Datum plaatsing:</b>	7-9-2011	7-9-2011	7-9-2011	6-9-2011	6-9-2011	6-9-2011	6-9-2011
<b>Peilbuisnummer:</b>	PB 4-1A	PB 4-1B	PB 4-1C	PB 4-2A	PB 4-2B	PB 4-2C	PB 4-2C
<b>Materiaal peilbuis / filter:</b>	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE
<b>Binnen- / Buitendiameter:</b>	26 / 32	26 / 32	26 / 32	26 / 32	26 / 32	26 / 32	26 / 32
<b>Bovenkant Peilbuis t.o.v. MV</b>	0.35	0.35	0.35	0.05 m-	0.05 m-	0.05 m-	0.05 m-
<b>Bovenkant Filter ( m - MV )</b>	3.00	10.00	17.00	2.00	8.00	16.80	16.80
<b>Onderkant Filter ( m - MV )</b>	4.00	11.00	18.00	3.00	9.00	17.80	17.80
<b>Filtergrind van...tot...(mv-m):</b>	4.00-3.00	11.00-10.00	18.00-17.00	3.00-2.00	9.00-8.00	17.80-16.80	17.80-16.80
<b>Kleiafd.van...tot...(mv-m):</b>	3.00-2.00	10.00-5.00	17.00-12.00	2.00-1.00	8.00-7.00	13.80-6.80	13.80-6.80
<b>Afwerking peilbuis:</b>	Koker	Koker	Koker	Koker	Koker	Koker	Koker
<b>X:</b>							
<b>Y:</b>							
<b>Z:</b>							
<b>Z bkb:</b>				In eerste instantie afgewerkt in een straatpot			
<b>Opmerkingen</b>							



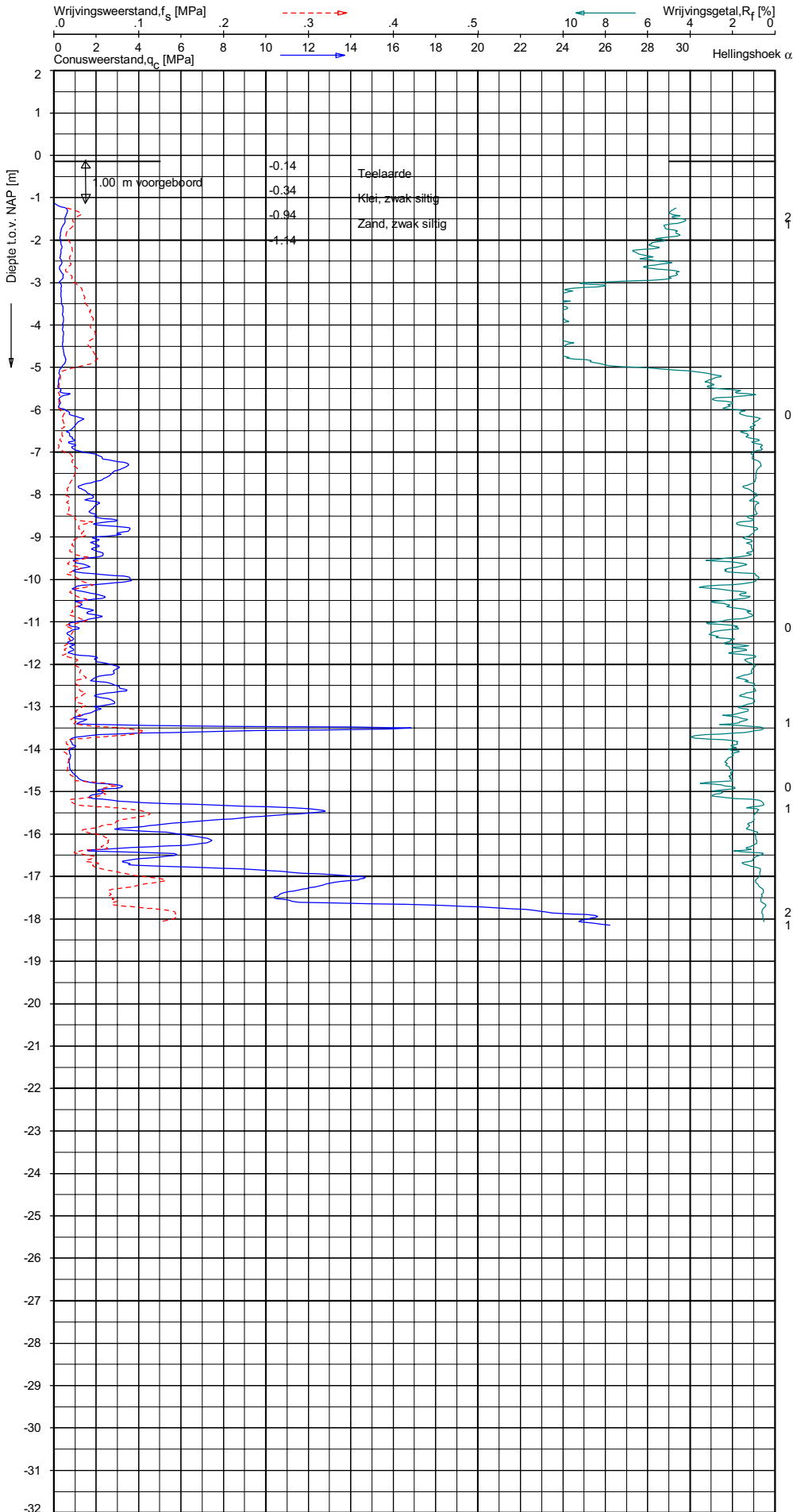
**WEGDRUKBARE PEILBUIZEN**

<b>Opdrachtnummer:</b>		2111-0004-001	
<b>Lokatie:</b>		Proefvak Markermeerdijk Fase II	
<b>Waarnemer:</b>		Buvens	
<b>Opdrachtgever:</b>		DELTARES	
<b>Datum plaatsing:</b>	6-9-2011	6-sep	6-sep
<b>Peilbuisnummer:</b>	PB 4-3A	PB 4-3C	PB 4-4C
<b>Materiaal peilbuis / filter:</b>	HDPE	HDPE	HDPE
<b>Binnen- / Buitendiameter:</b>	26/32	26/32	26/32
<b>Bovenkant Peilbuis t.o.v. MV</b>	0.05 m-	0.05 m-	0.05 m-
<b>Bovenkant Filter ( m - MV )</b>	2.00	15.00	14.80
<b>Onderkant Filter ( m - MV )</b>	3.00	16.00	15.80
<b>Filtergrind van...tot...(mv-m):</b>	3.00-2.00	16.00-15.00	15.80-14.80
<b>Kleiafd.van...tot...(mv-m):</b>	2.00-1.00	12.00-6.00	12.80-6.80
<b>Afwerking peilbuis:</b>	Koker	Koker	Koker
<b>X:</b>			
<b>Y:</b>			
<b>Z:</b>			
<b>Z bkb:</b>			
<b>Opmerkingen</b>	In eerste instantie afgewerkt in een straatpot		

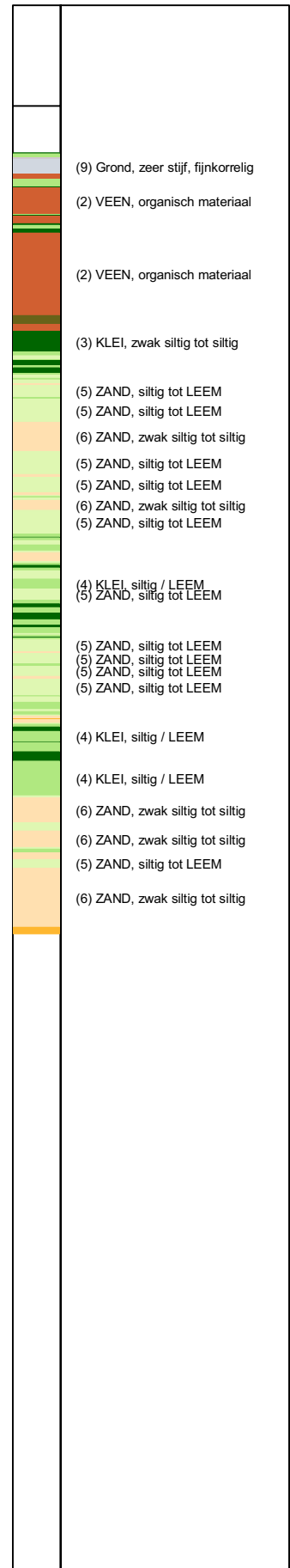
UNIPLOT 05.17.nl / QdF-Graaf-N3.cml / 2011-10-05 15:58:06

2111-0004-001

S1-1 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 05-Sep-2011 conus: F5CKE2HAW<sub>2</sub>/B P1 X = 132675.8  
 Get.: BOSCHG d.d. 2011-10-05 MV = NAP -0.14 m Y = 499459.7  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

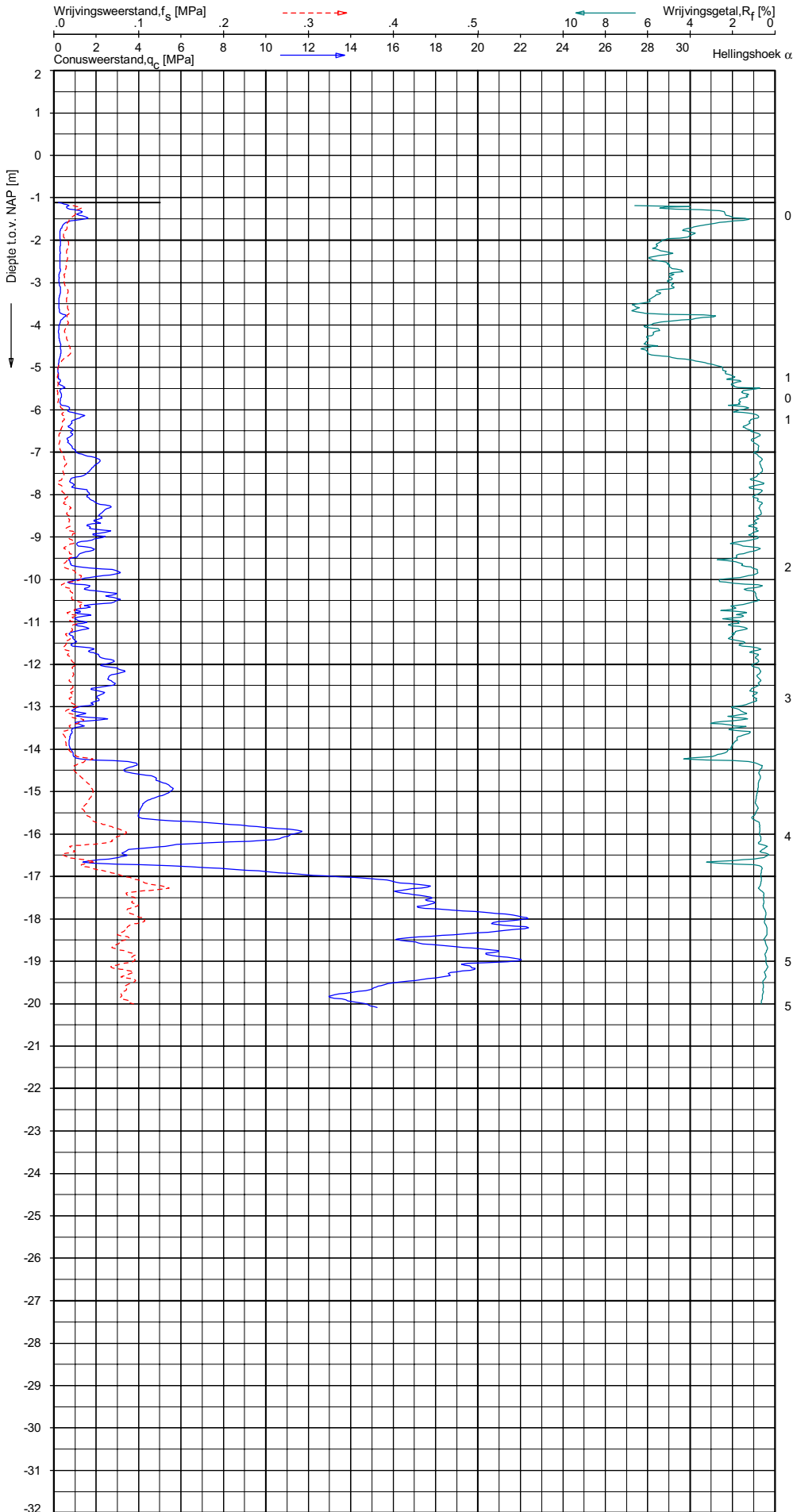
PRAKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S1-1

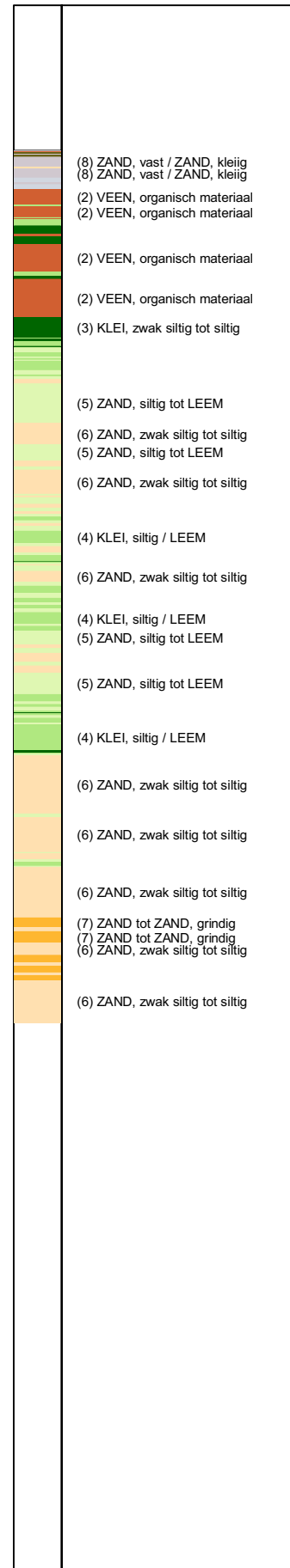


UNIPLOT 05.17.nl / QdF-GraafNS.cml / 2011-10-05 15:56:09

2111-0004-001



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opp.: JBN d.d. 05-Sep-2011 conus: F5CKE2HAW<sub>2</sub>/B P1 X = 132649.2  
 Get.: BOSCHG d.d. 2011-10-05 MV = NAP -1.11 m Y = 499455.0  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

PRAKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II

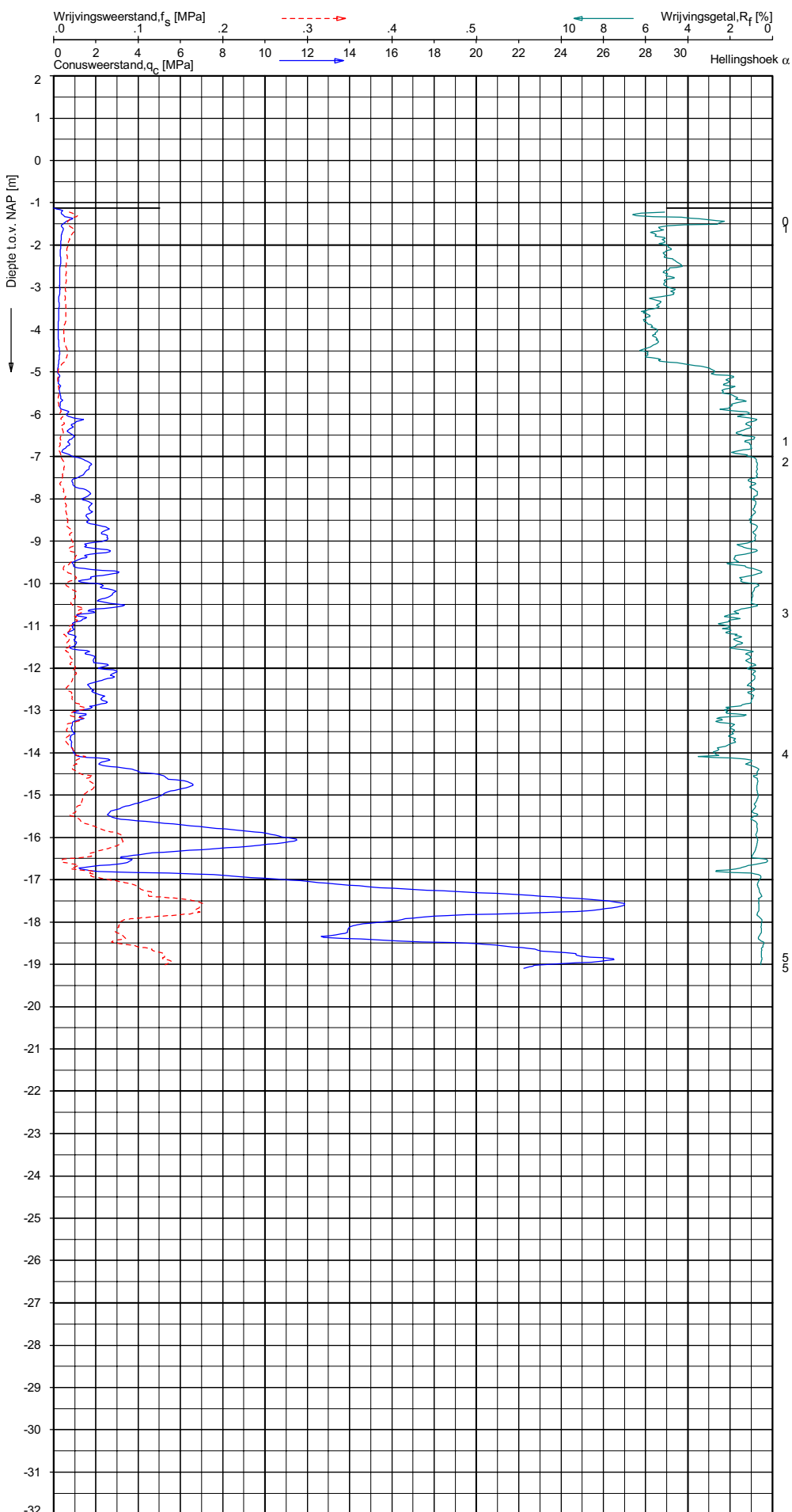
Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S1-2

S1-2 - 1

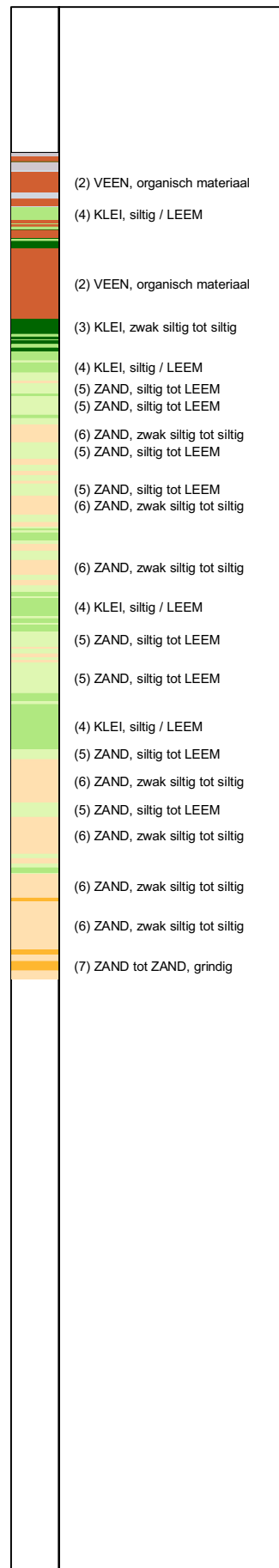
UNIPLOT 05.17.nl / QdF-Glases-NS.cml / 2011-10-05 15:56:11

2111-0004-001

S1-3 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 05-Sep-2011 conus: F5CKEZHAW<sub>2</sub>/B P1 X = 132620.1  
 Get.: BOSCHG d.d. 2011-10-05 MV = NAP -1.13 m Y = 499450.5  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

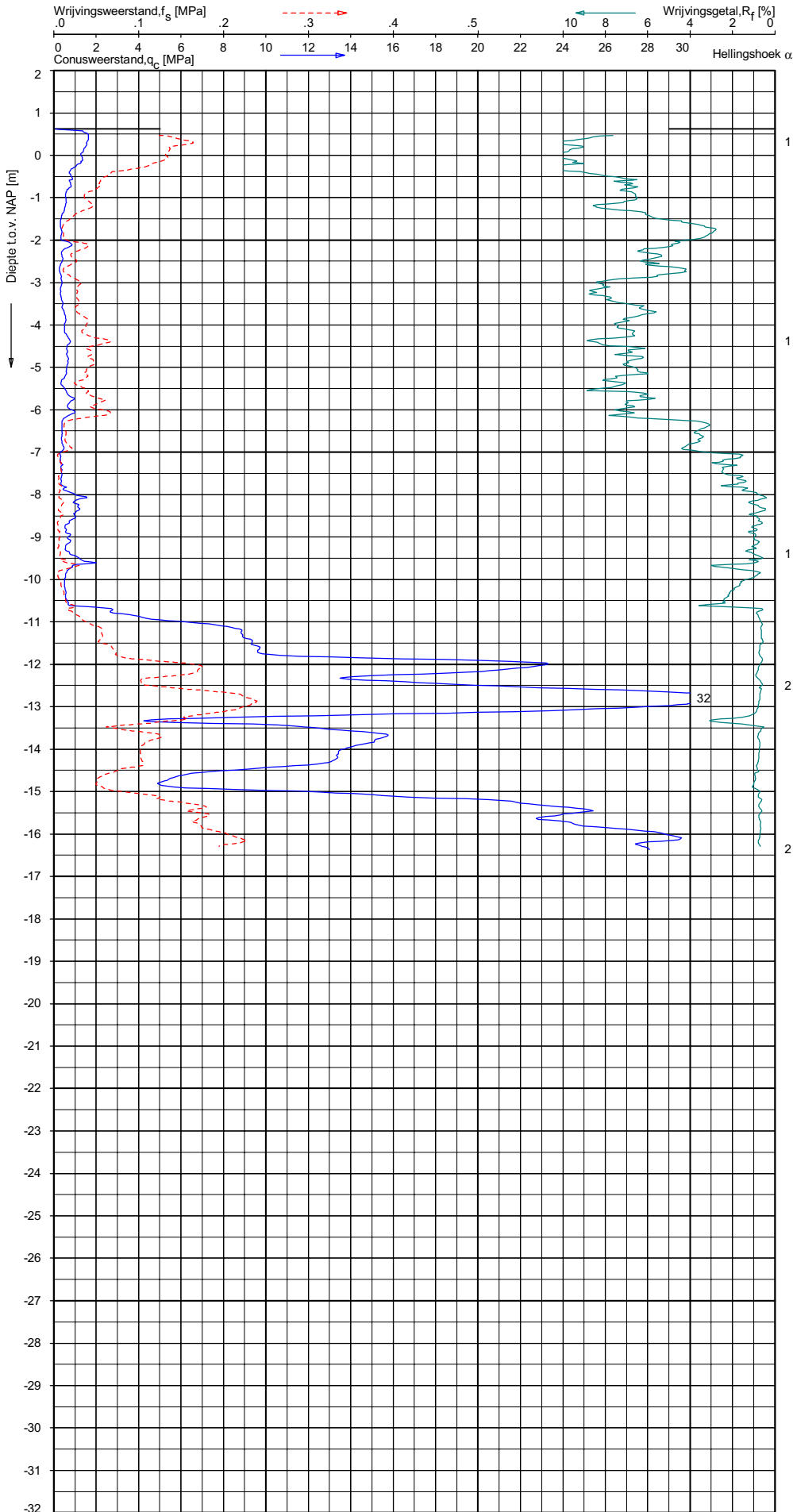
PRAKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S1-3

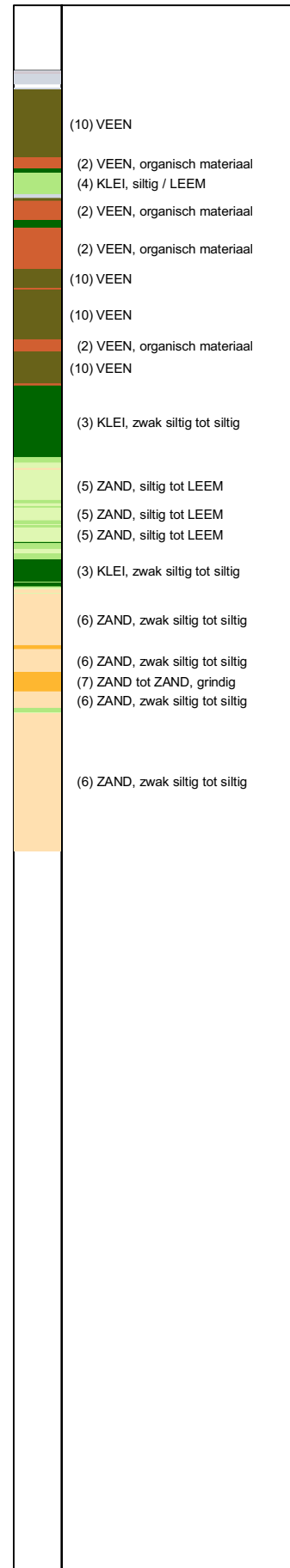
UNIPLOT 06.17.nl / QdFClassNS.cmd / 2011-10-05 15:56:14

2111-0004-001

S3-1 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 31-Aug-2011 conus: F5CKE2HAW<sub>2</sub>/B P1 X = 133621.0  
 Get.: BOSCHG d.d. 2011-10-05 MV = NAP +0.63 m Y = 492876.9

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

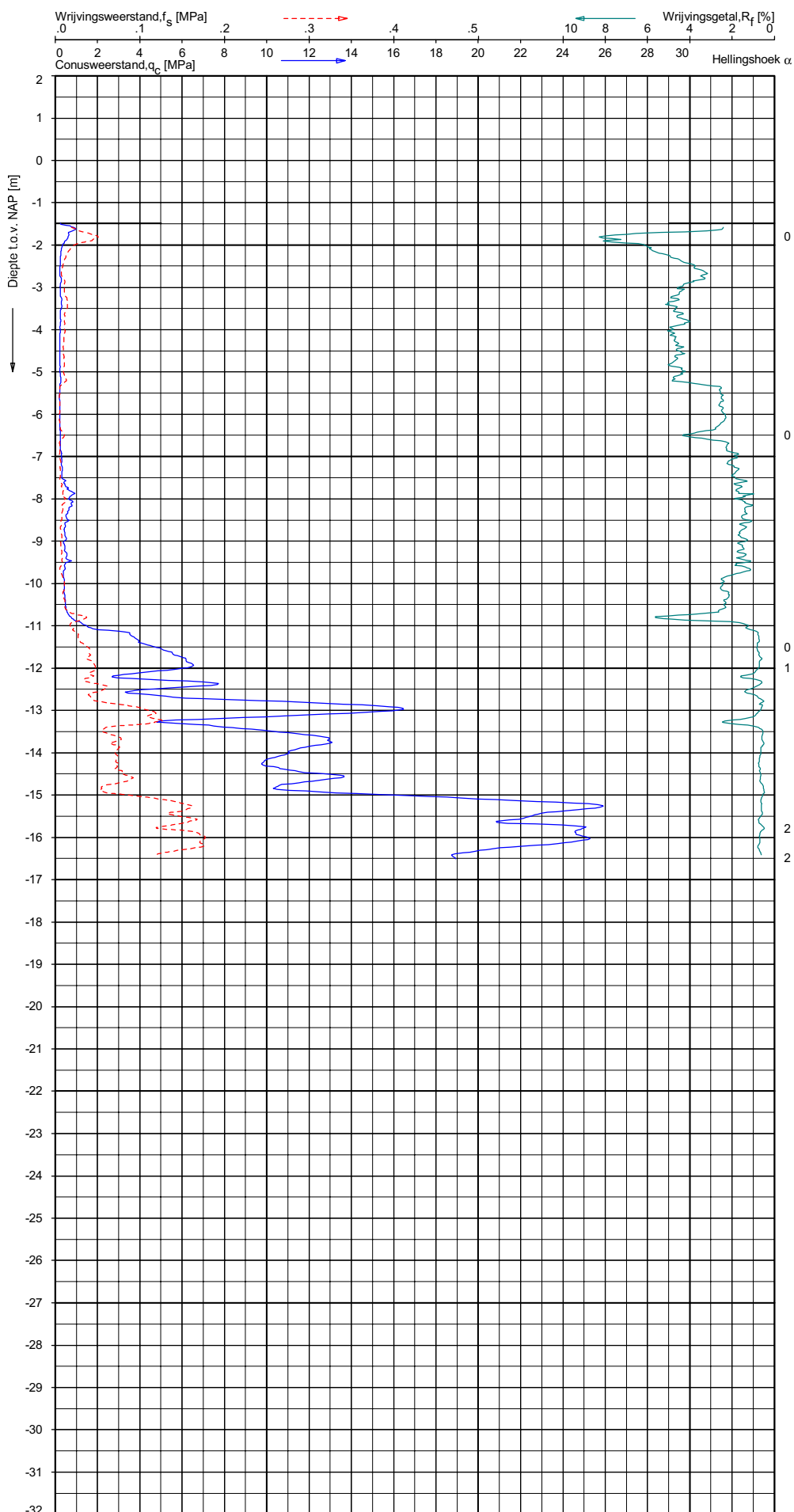
PRAKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S3-1

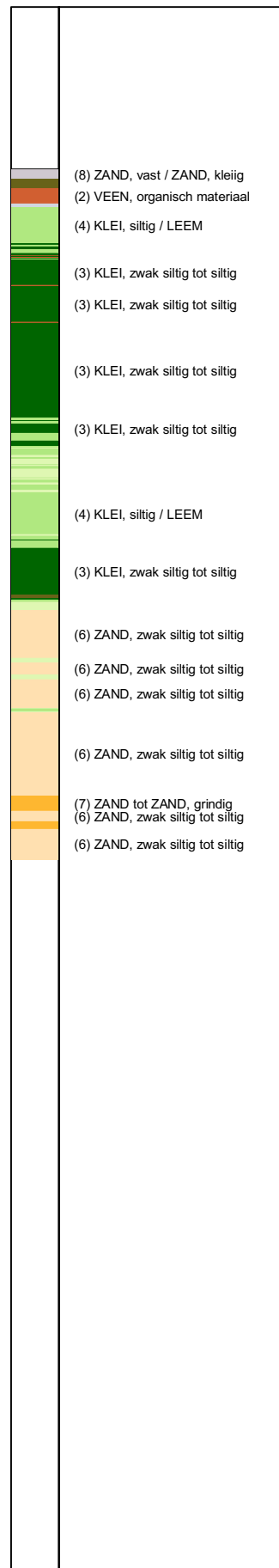
UNIPLOT 05.17.nl / QdFClassNS.cmd / 2011-10-05 15:56:17

2111-0004-001

S3-2 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 01-Sep-2011 conus: F5CKE2HAW<sub>2</sub>/B P1 X = 133588.9  
 Get.: BOSCHG d.d. 2011-10-05 MV = NAP -1.49 m Y = 492865.6  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conusstype cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

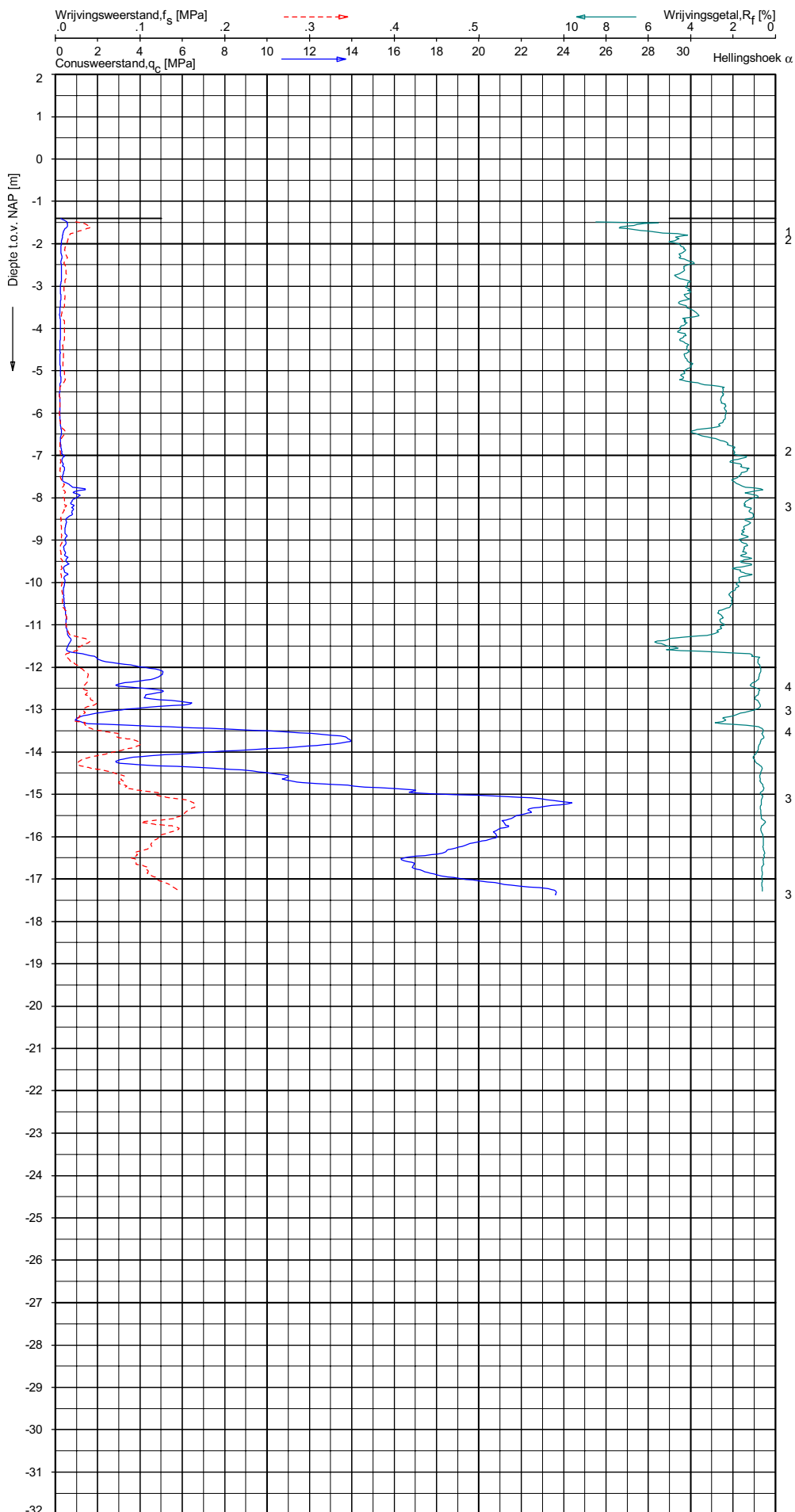
PRAKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S3-2

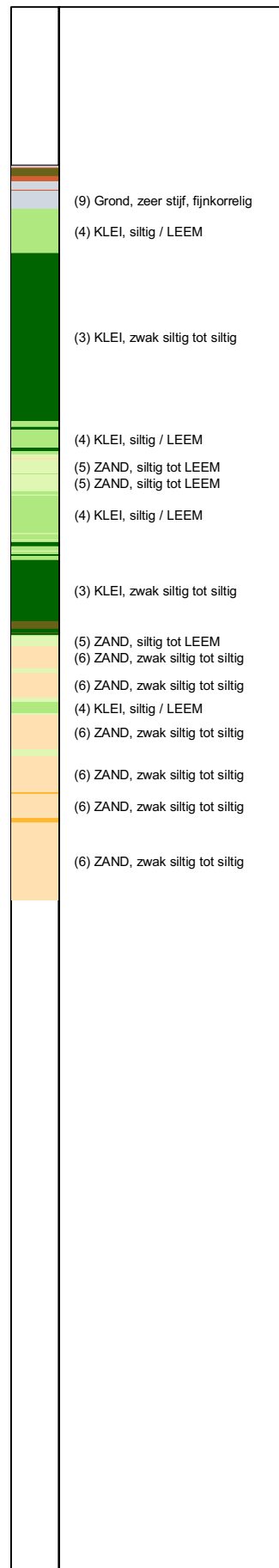
UNIPLOT 05.17.nl / Q:\F\Class\NS.cml / 2011-10-05 15:58:19

2111-0004-001

S3-3 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 02-Sep-2011 conus: F5CKE2HAW<sub>2</sub>/B P1 X = 133584.1 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Get.: BOSCHG d.d. 2011-10-05 MV = NAP -1.41 m Y = 492857.2 Conusstype cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

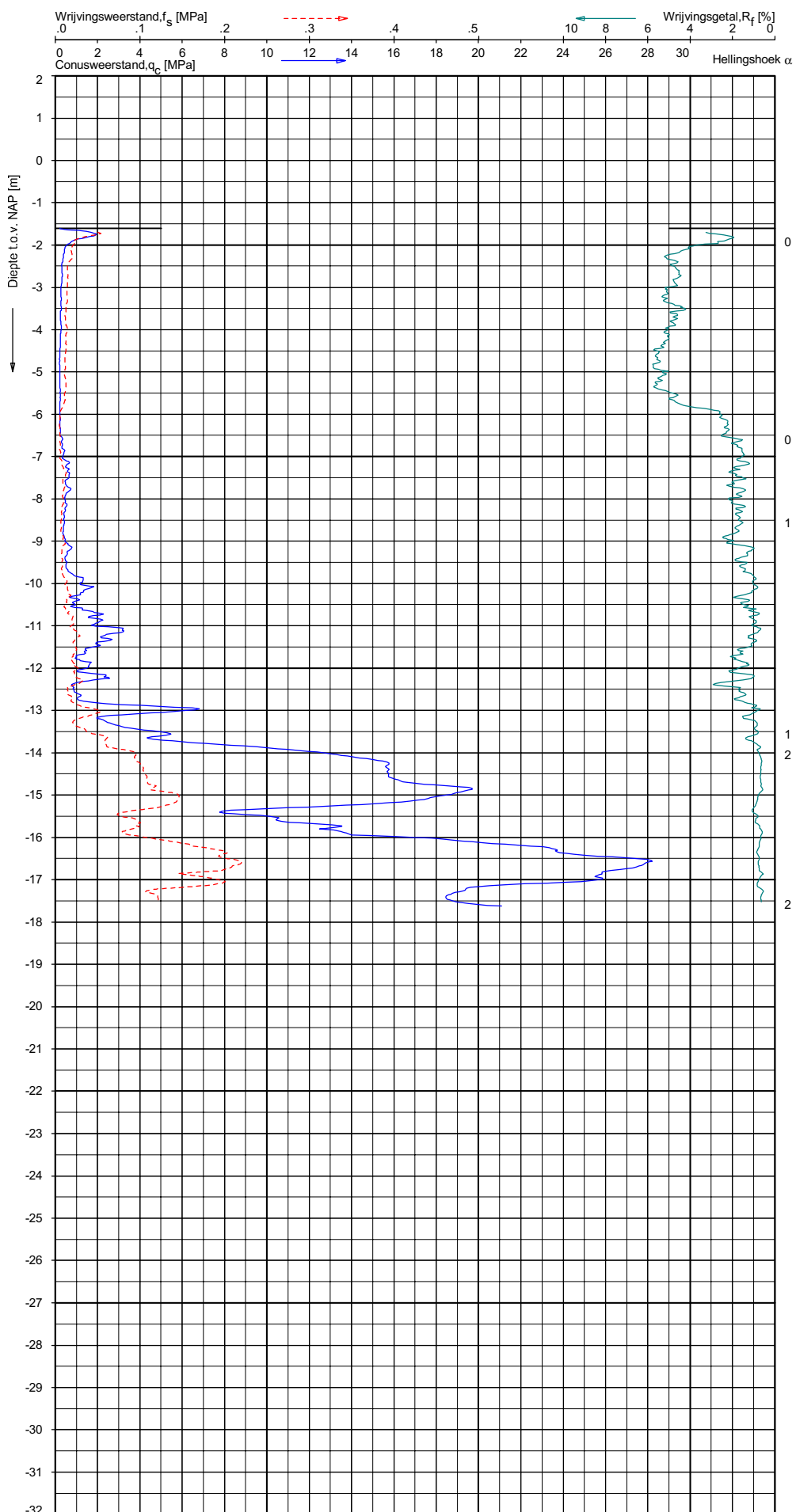
PRAKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S3-3

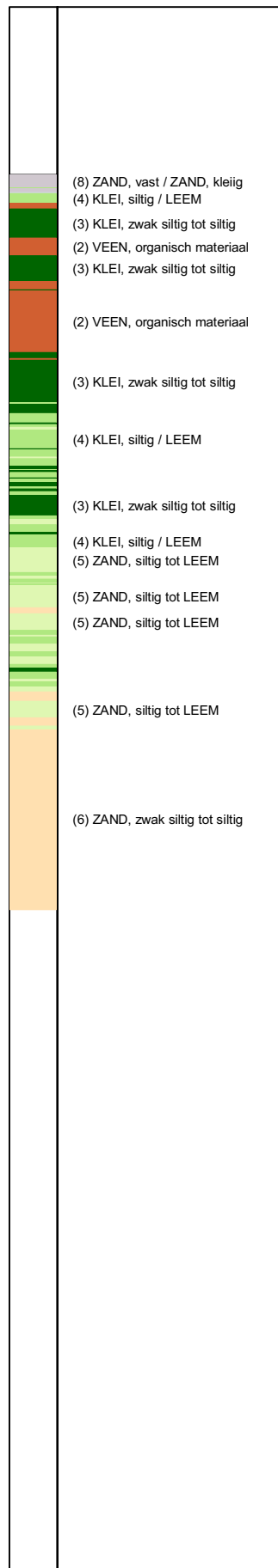
UNIPLOT 05.17.nl / QdF5ClassNS.cmd / 2011-10-05 15:56:22

2111-0004-001

S3-4 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 08-Sep-2011 conus: F5CKEZHAW<sub>2</sub>/B P1 X = 131095.2  
 Get.: BOSCHG d.d. 2011-10-05 MV = NAP -1.60 m Y = 493154.6

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conusstype cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

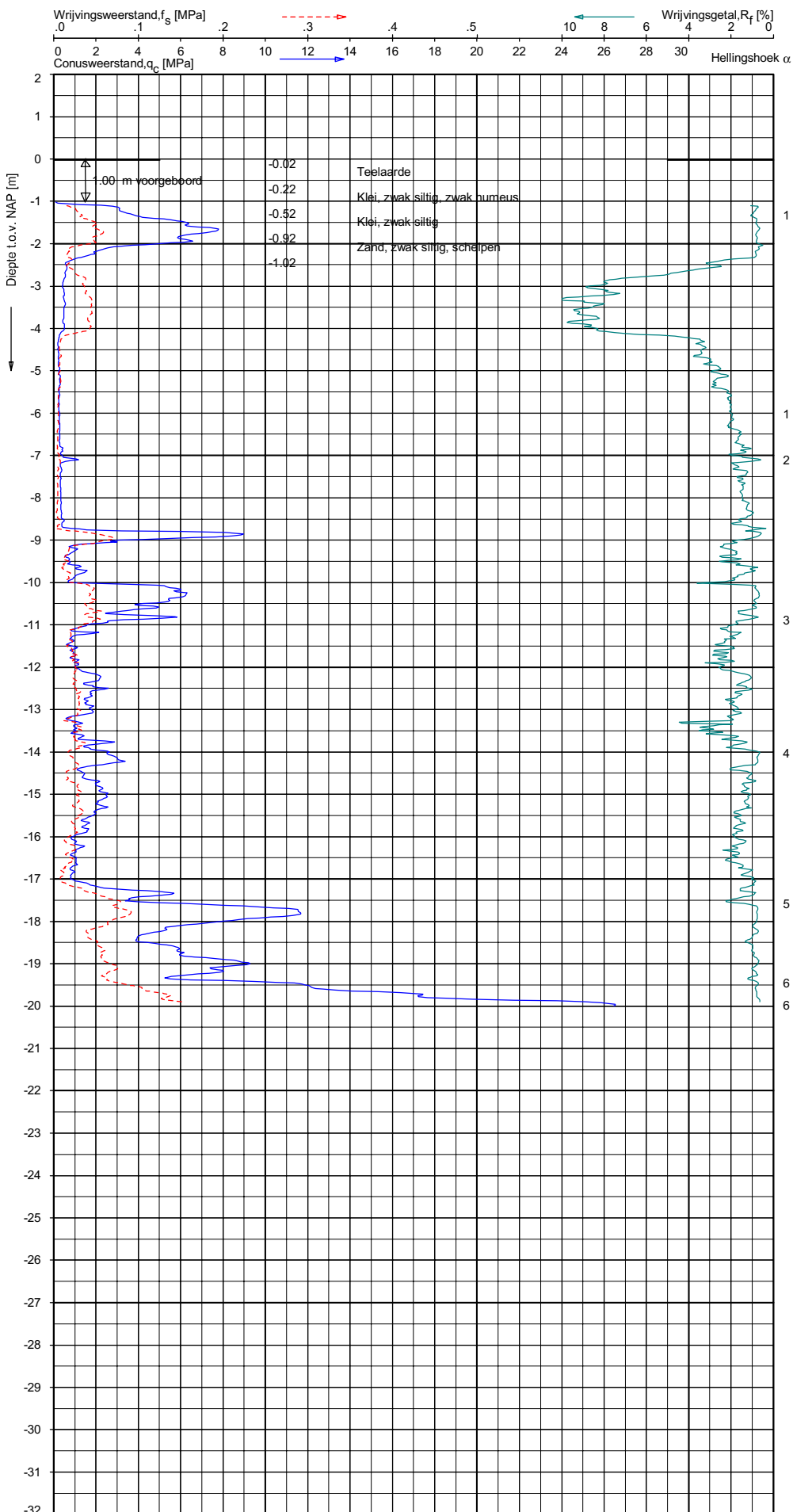
PRAKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S3-4

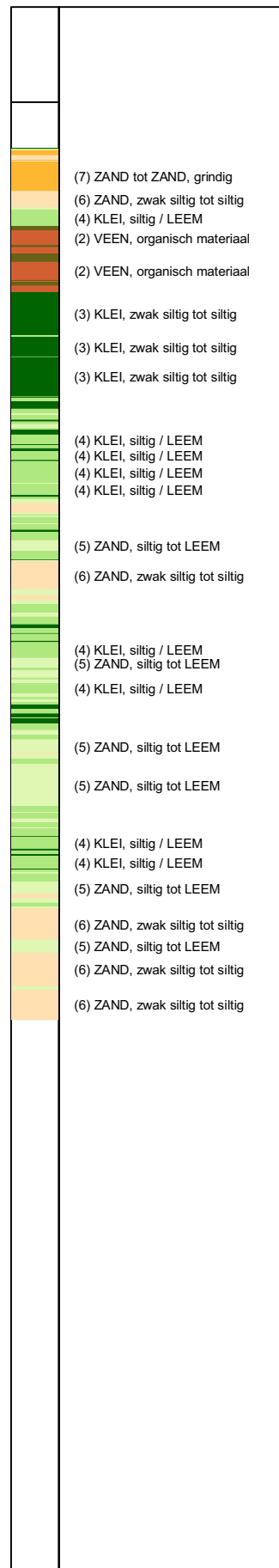
UNIPLOT 05.17.nl / Q:\F\G\Bosch\NS\cmd / 2011-10-05 15:56:25

2111-0004-001

S4-1 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 07-Sep-2011 conus: F5CKE2HAW<sub>2</sub>/B P1 X = 132834.0  
 Get.: BOSCHG d.d. 2011-10-05 MV = NAP -0.02 m Y = 504963.2  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

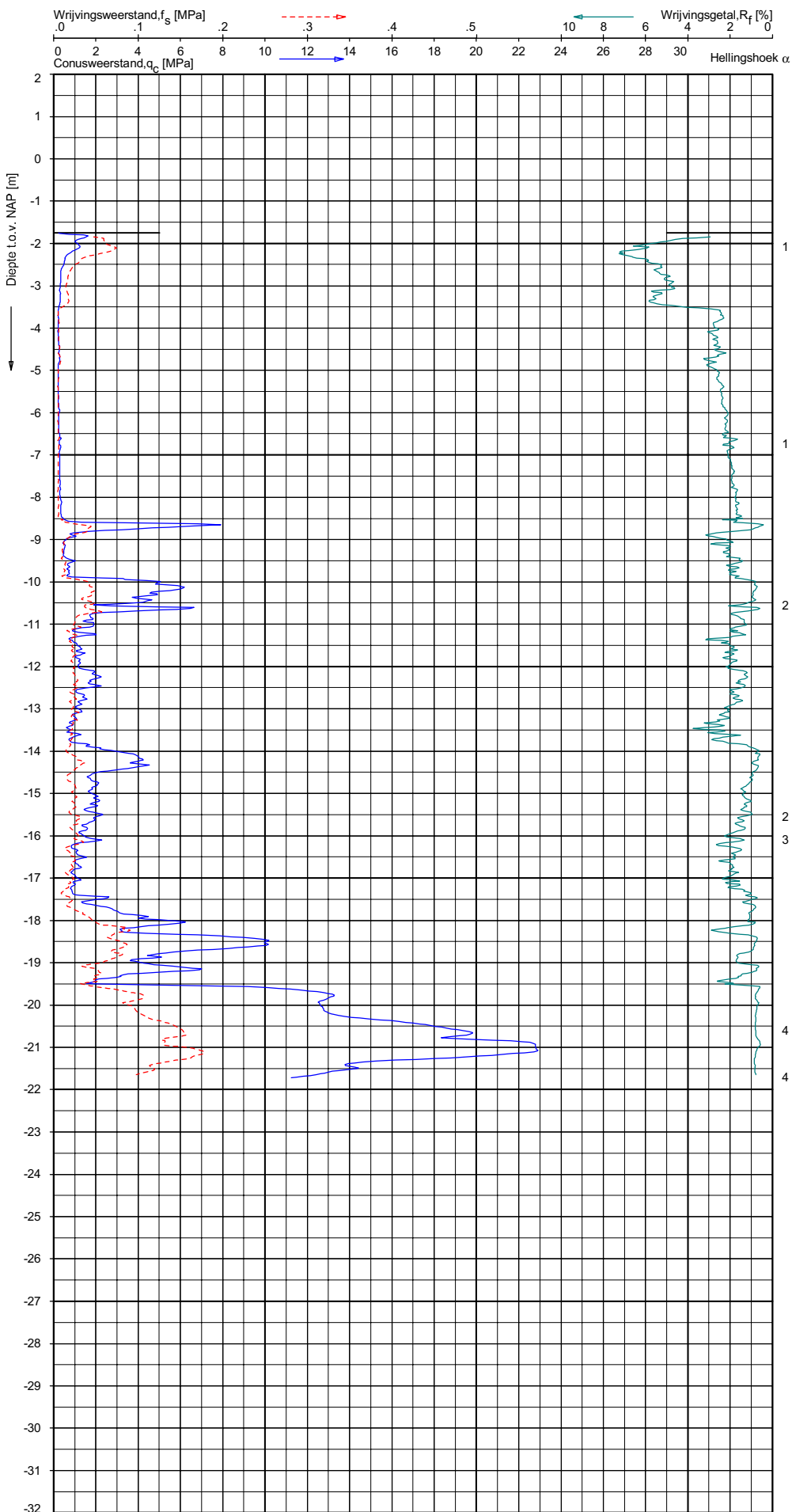
PRAKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S4-1

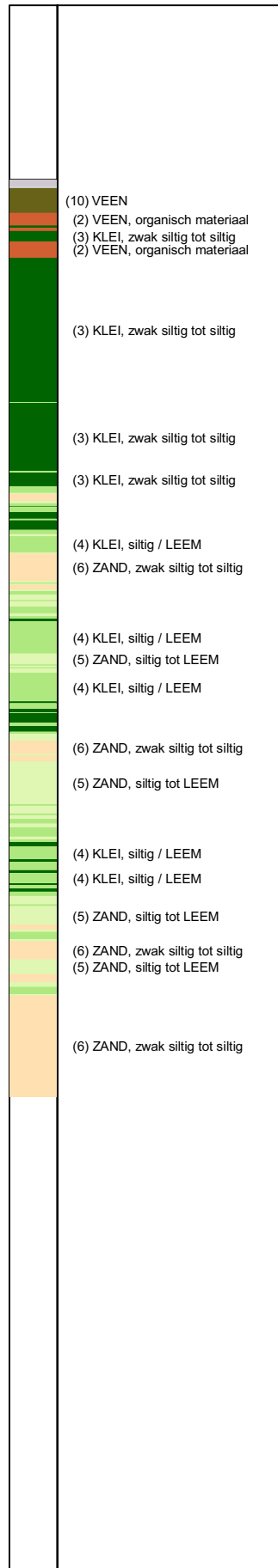
JUNIPLOT 05.17.nl / QdF5ClassNS.cml / 2011-10-05 15:56:28

2111-0004-001

S4.2 - 1



**Indicatieve bodemdeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 06-Sep-2011 conus: F5CKE2HAW2/B P1 X = 132809.6  
 Get.: BOSCHG d.d. 2011-10-05 MV = NAP -1.75 m Y = 504947.5  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

PRAKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II

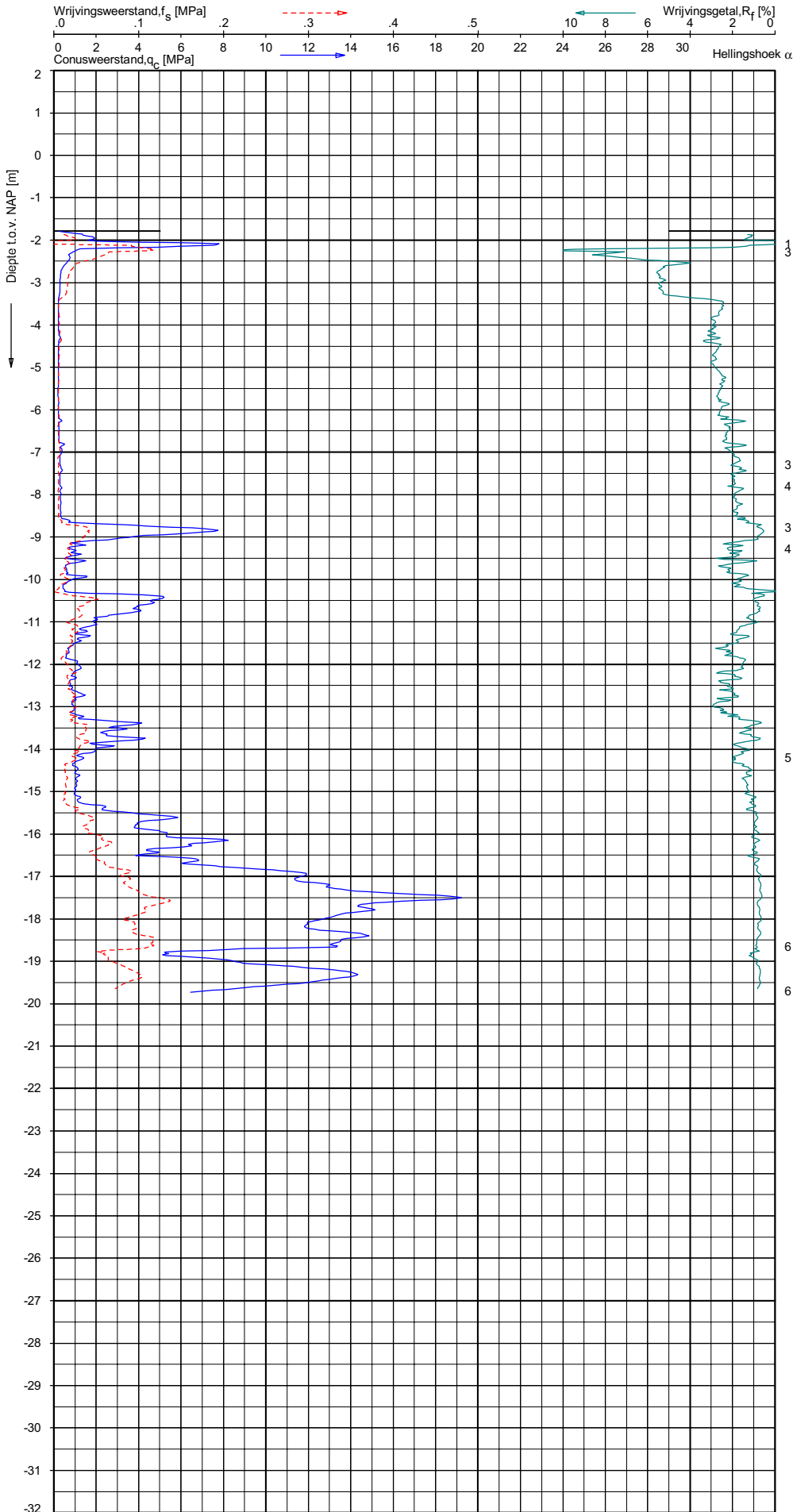
Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S4-2



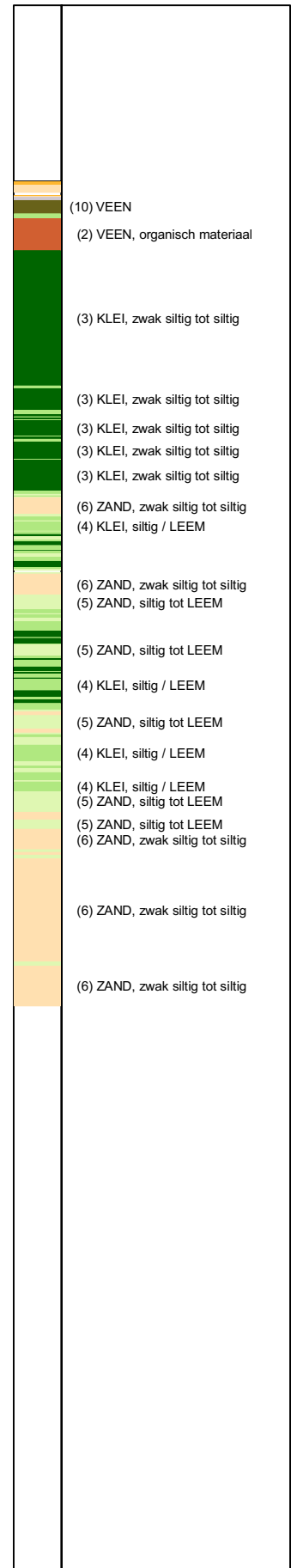
UNIPLOT 05.17.nl / Q:\F\Class\NS.cml / 2011-10-05 15:56:33

2111-0004-001

S4.4 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 06-Sep-2011 conus: F5CKEZHAW<sub>2</sub>/B P1 X = 132233.8  
 Get.: BOSCHG d.d. 2011-10-05 MV = NAP -1.79 m Y = 504503.7  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

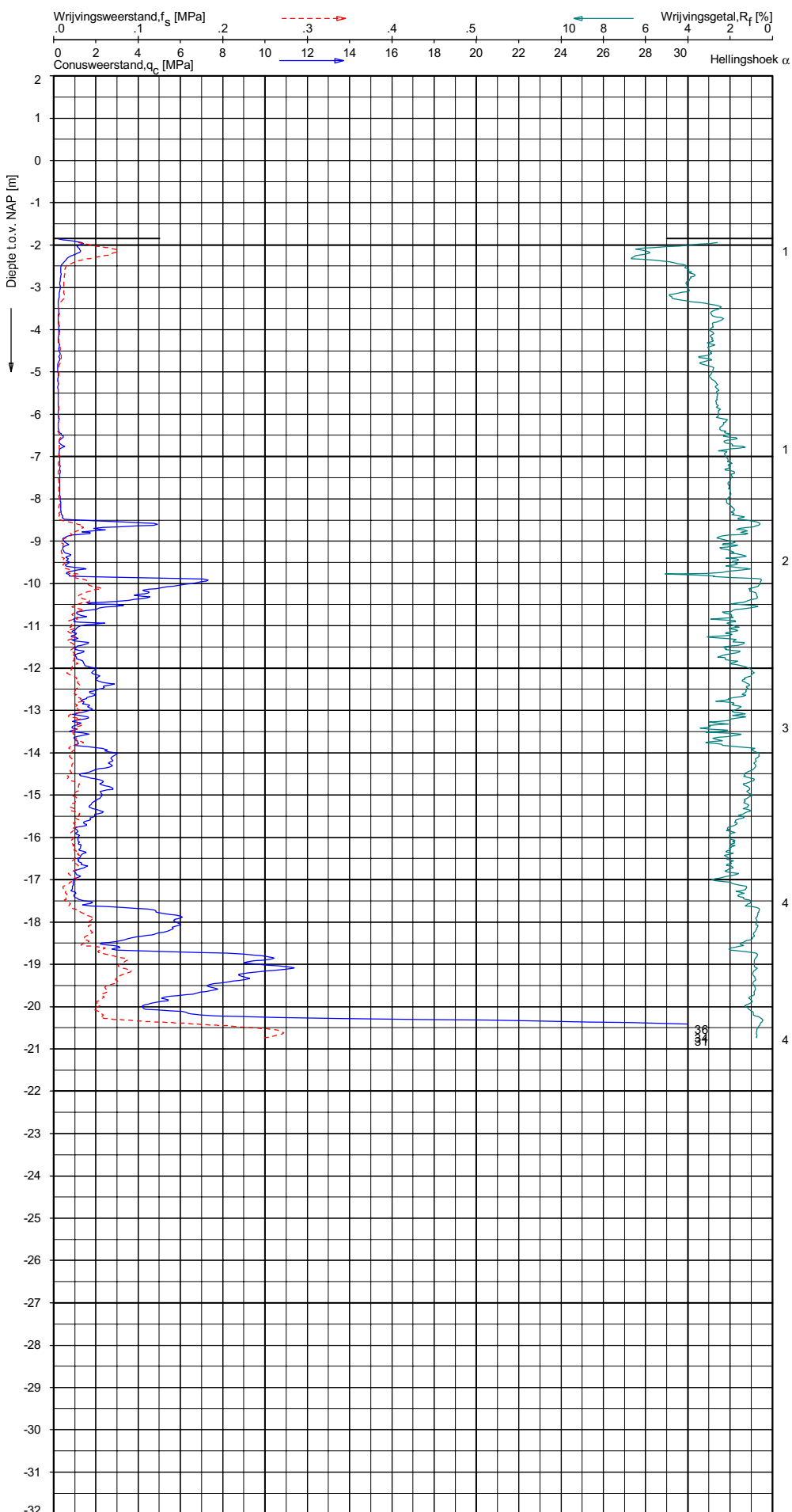
PRAKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S4-4

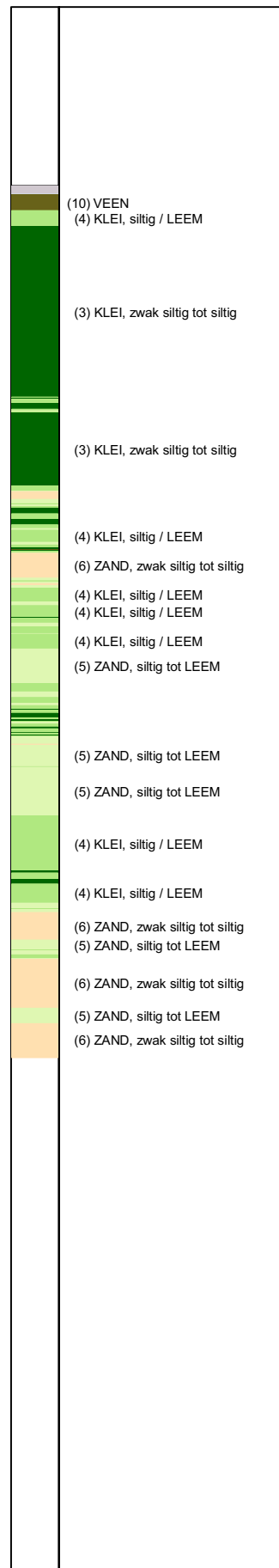
JUNIPLOT 05.17.nl/QdF5ClassNS.cml/2011-10-05 15:56:30

2111-0004-001

S4-3 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 06-Sep-2011 conus: F5CKE2HAW<sub>2</sub>/B P1 X = 132786.4  
 Get.: BOSCHG d.d. 2011-10-05 MV = NAP -1.84 m Y = 504928.5  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

PRAKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S4-3

# Sondeerstaat Fugro



Opdrachtgever *Fugro-Ingenieursbureau B.V.*  
Projectnr opdrachtgever *2111-0004-001*  
Projectomschrijving *Inmeten peilbuizen*  
Uitgevoerd door *Praktijkproef Markermeerdijk Fase II*  
Datum uitvoering: *14+15+16 sept 2011*

*Projectnr opdrachtnemer 221.30078.1149*  
*Datum aflevering 20 sept 2011*

Lijst met sonderingen / boringen / handboringen

## Referentiepeil (NAP of VP) NAP

Naam	theoretisch		X	Y	gemeten			Z	lengte	verschil		Opmerking
	X	Y			X	Y	Z			dX	dY	
1-1a	132674	499452	132675.513	499461.375	0.267	9.50	-1.51	-9.38				
1-1c	132674	499452	132675.604	499460.101	0.205	8.26	-1.60	-8.10				
1-1c maaiveld	132674	499452	132675.747	499459.702	-0.144	9.42	-7.65	-5.49				
1-2a	132640	499449	132647.648	499454.494	-0.685	10.47	-8.91	-5.51				
1-2c	132640	499449	132648.907	499454.51	-0.689							
1-2c maaiveld	132640	499449	132649.198	499455.031	-1.111	8.99	-5.83	-6.84				
1-3a	132613	499444	132618.833	499450.845	-0.738	9.65	-6.77	-6.88				
1-3c	132613	499444	132619.768	499450.877	-0.736							
1-3c maaiveld	132613	499444	132620.065	499450.506	-1.128							
1-4a	130207	499449			<b>vervallen</b>							
1-4c	130207	499449			<b>vervallen</b>							
1-4c maaiveld	130207	499449			<b>vervallen</b>							
1-5a Markermeer	132776	499457	132776.037	499457.178	2.256	0.18	-0.04	-0.18				
1-5c Markermeer	132776	499457	132776.175	499457.103	2.24	0.20	-0.17	-0.10				
PS1-2 buis in sloot	132640	499462	132669.442	499456.251	-0.521	30.00	-29.44	5.75				
PS1-4 buis in sloot	130279	499464			<b>vervallen</b>							
PS1-5_1 Markermeer	132776	499457	132776.987	499457.7	0.562	1.21	-0.99	-0.70				

# Sondeerstaat Fugro



Fugro-Ingenieursbureau B.V.

Opdrachtgever

Projectnr opdrachtgever 2111-0004-001

Projectnr opdrachtnemer 221.30078.1149

Projectomschrijving Inmeten peilbuizen

Uitgevoerd door Praktijkproef Markermeerdijk Fase II

Datum uitvoering: 14+15+16 sept 2011

Datum aflevering 20 sept 2011

Lijst met sonderingen / boringen / handboringen

## Referentiepeil (NAP of VP) NAP

Naam	theoretisch		gemeten		Z	lengte	verschil		Opmerking
	X	Y	X	Y			dX	dY	
3-1a	133621	492883	133620.897	492875.776	1.017	7.22	0.10	7.22	
3-1c	133621	492883	133621.091	492876.57	0.974	6.43	-0.09	6.43	
3-1c maaiveld	133621	492883	133620.955	492876.952	0.628				
3-2a	133577	492876	133587.269	492865.624	-1.059	14.60	-10.27	10.38	
3-2c	133577	492876	133588.429	492865.792	-1.078	15.32	-11.43	10.21	
3-2c maaiveld	133577	492876	133588.883	492865.557	-1.49				
3-3a	133547	492873	133562.34	492857.038	-0.965	22.14	-15.34	15.96	
3-3c	133547	492873	133563.652	492857.284	-0.997	22.90	-16.65	15.72	
3-3c maaiveld	133547	492873	133564.145	492857.234	-1.408				
3-4a	131075	493148	131094.977	493156.055	-1.212	21.54	-19.98	-8.05	
3-4c	131075	493148	131094.812	493155	-1.211	21.01	-19.81	-7.00	
3-4c maaiveld	131075	493148	131095.169	493154.63	-1.604				
3-5a Markermeer	133662	492884	133660.821	492884.271	1.99	1.21	1.18	-0.27	
3-5c Markermeer	133662	492884	133660.884	492884.338	1.841	1.17	1.12	-0.34	
PS3-2 buis in sloot	133566	492917	133563.823	492917.104	-0.851	2.18	2.18	-0.10	
PS3-4 buis in sloot	131086	493142	131104.332	493201.423	-1.308	62.19	-18.33	-59.42	
PS3-5_1 Markermeer	133662	492884	133660.806	492884.357	1.374	1.25	1.19	-0.36	
Vast punt 3a	133493	492851	133493.451	492851.17	-0.822	0.06	-0.05	-0.04	vastpunt2
Vast punt 3b	133495	492862	133495.442	492861.992	-0.861	0.05	0.02	-0.05	vastpunt3
Vast punt 3c	133541	492863	133541.383	492862.941	-0.883	0.08	-0.07	0.03	vastpunt4
Vast punt 3d	133542	492874	133542.418	492873.537	-0.922	0.01	-0.01	0.00	vastpunt5

Opdrachtgever  
Fugro-Ingenieursbureau B.V.  
Projectnr opdrachtgever  
2111-0004-001  
Projectomschrijving  
Inmeten peilbuizen  
Uitgevoerd door  
Praktijkproef Markermeerdijk Fase II  
Datum uitvoering:  
14+15+16 sept 2011

Projectnr opdrachtnemer  
221.30078.1149  
Datum aflevering  
20 sept 2011

Lijst met sonderingen / boringen / handboringen

### Referentiepeil (NAP of VP) NAP

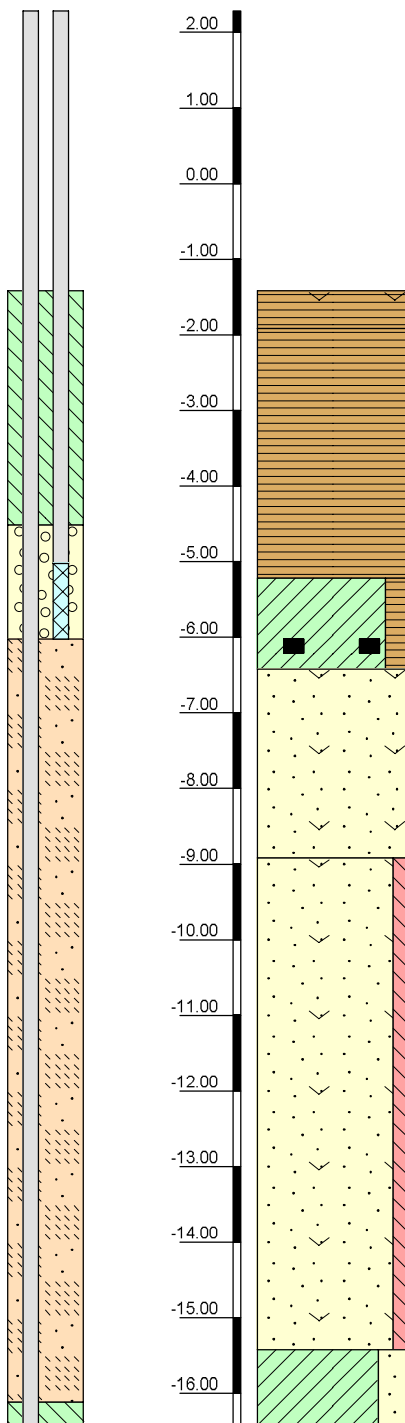
Naam	theoretisch		gemeten			Z	lengte	verschil		Opmerking
	X	Y	X	Y	dX			dY		
4-1a	132825	504952	132833.575	504963.564	0.415	14.40	-8.58	-11.56		
4-1b	?? Bij 4-1a en 4-1c		132833.165	504963.801	0.342					
4-1c	132825	504952	132833.813	504963.352	0.379	14.37	-8.81	-11.35		
4-1c maaiveld	132825	504952	132833.981	504963.225	-0.021					
4-2a	132804	504934	132807.872	504945.744	-1.626	12.37	-3.87	-11.74		
4-2b	?? Bij 4-2a en 4-2c		132808.74	504946.528	-1.644					
4-2c	132804	504934	132809.415	504947.227	-1.616	14.29	-5.42	-13.23		
4-2c maaiveld	132804	504934	132809.636	504947.475	-1.748					
4-3a	132779	504917	132785.356	504927.837	-1.754	12.56	-6.36	-10.84		
4-3c	132779	504917	132786.033	504928.371	-1.687	13.37	-7.03	-11.37		
4-3c maaiveld	132779	504917	132786.425	504928.538	-1.841					
4-4a	132226	504493	132232.262	504502.938	-1.721	11.75	-6.26	-9.94		
4-4c	132226	504493	132233.204	504503.434	-1.689	12.68	-7.20	-10.43		
4-4c maaiveld	132226	504493	132233.78	504503.698	-1.786					
PS4-4	132226	504493	132235.361	504492.824	-1.759	9.36	-9.36	0.18		

## **D Meetadata peilbuizen in Markermeer**

**Boring: B1-5****Veldclassificatie**Peilbuis 1-5c 1-5a  
Diepte (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



-1.42 tot -1.92 Veen, slap, slib, resten schelpen, donker bruin

-1.92 tot -5.22 Veen, zeer slap bruin

-5.22 tot -6.42 Klei, matig humeus, matig slap, resten hout, licht grijs

-6.42 tot -8.92 Zand, uiterst fijn, resten schelpen, licht grijs

-8.92 tot -15.42 Zand, uiterst fijn, zwak siltig, klei, laagjes schelpen, licht grijs

-15.42 tot -16.42 Klei, sterk zandig, matig stevig, laagjes veen, licht grijs

X: 132776.900

GWS (m tov NAP):

Bodem (m tov NAP): -1.42

Boorvloeistof:

Y: 499457.400

GHG (m tov NAP):

bk PB1-5c (m tov NAP): 2.28

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 09/09/2011

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB1-5a (m tov NAP): 2.28

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: chm

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

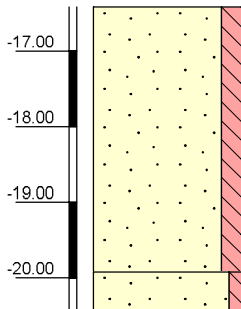
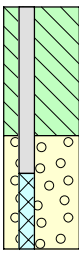
Geclassificeerd door: chm

**Boring: B1-5****Veldclassificatie**

Pagina 2 van 2

Peilbuis 1-5c Diepte (m tov NAP)

Monsternr. Bodembeschrijving volgens NEN 5104



-16.42 tot -19.92 Zand, uiterst fijn, matig siltig grijs

-19.92 tot -20.42 Zand, matig fijn, zwak siltig, licht grijs

Versie 2011-10-06

X: 132776.900

GWS (m tov NAP):

Bodem (m tov NAP): -1.42:

Boorvloeistof:

Y: 499457.400

GHG (m tov NAP):

bk PB1-5c (m tov NAP): 2.28

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 09/09/2011

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB1-5a (m tov NAP): 2.28

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: chm

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door: chm

**BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1**

Fugro GeoServices B.V.

Praktijkproef Markermeerdijk Fase II

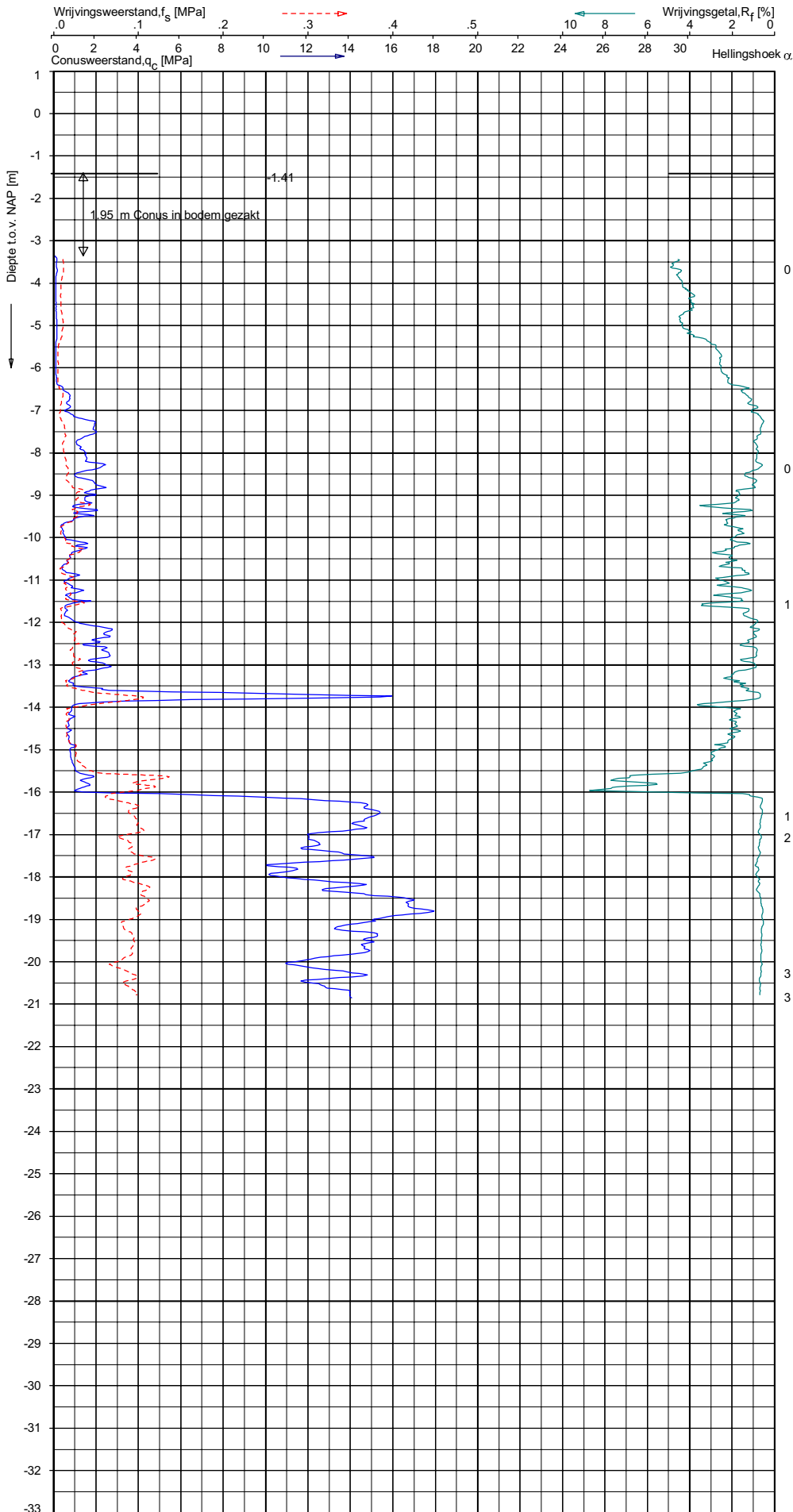
**2111-0004-001**



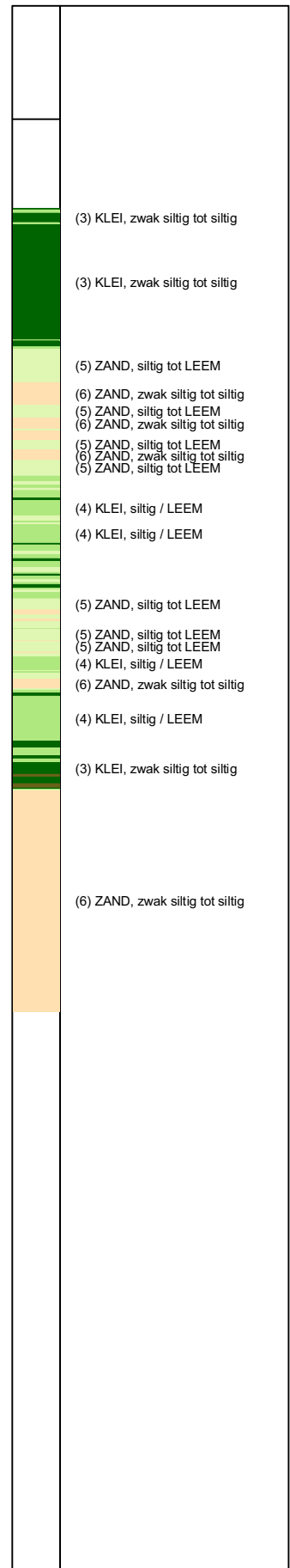
U:\NIP\OT\05\_16\.nl\Bodproef-sclass-N3\cmd\2011-09-22\_13:40:26

2111-0004-001

S1-5 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

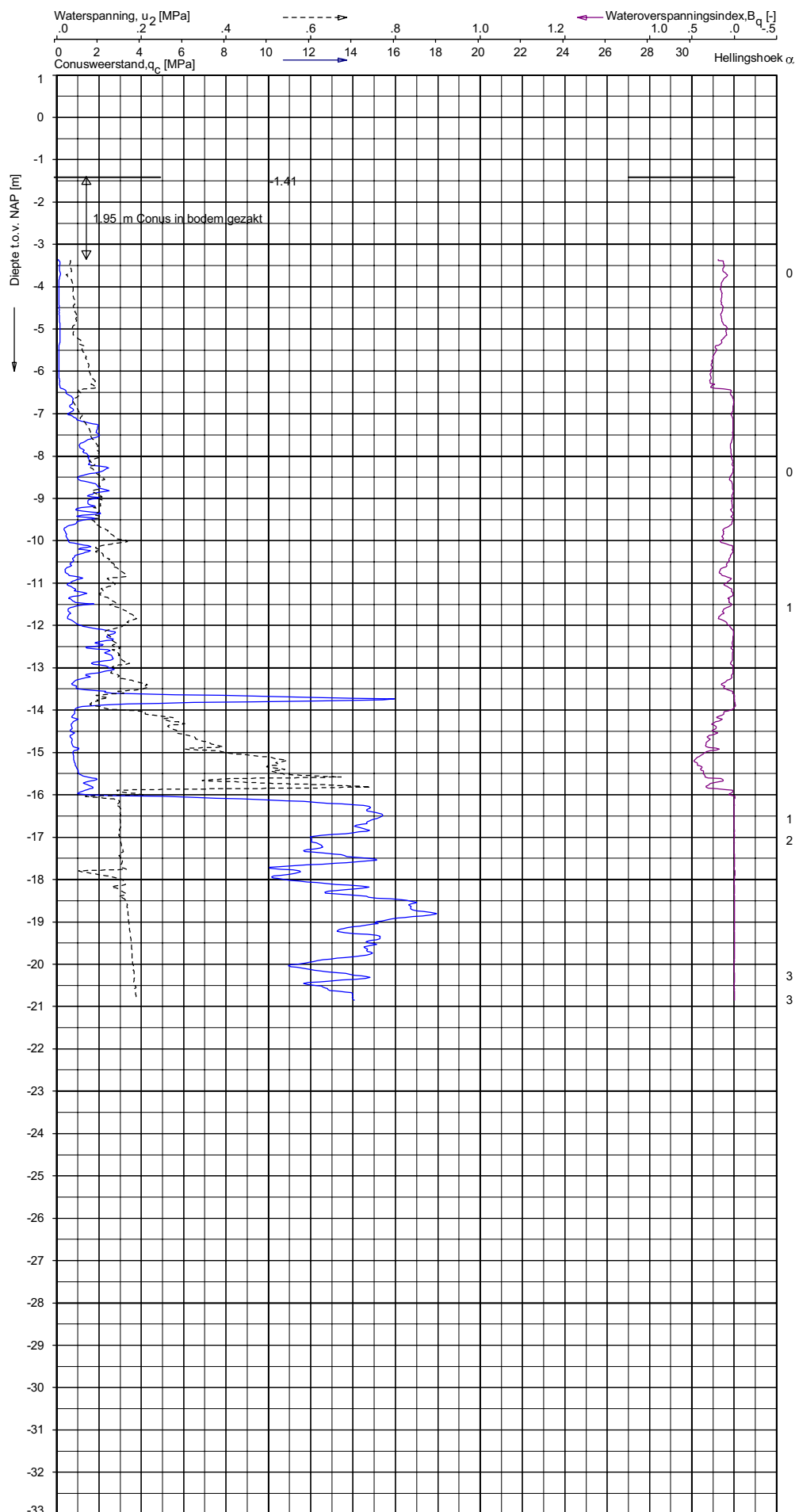


Opg.: RB/CHM d.d. 08-Sep-2011 conus : F5CKE2HAW<sub>2</sub>/B P1 X = 132777.1  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2011-09-22 BODEM = NAP -1.41 m Y = 499456.9  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conusstype cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.

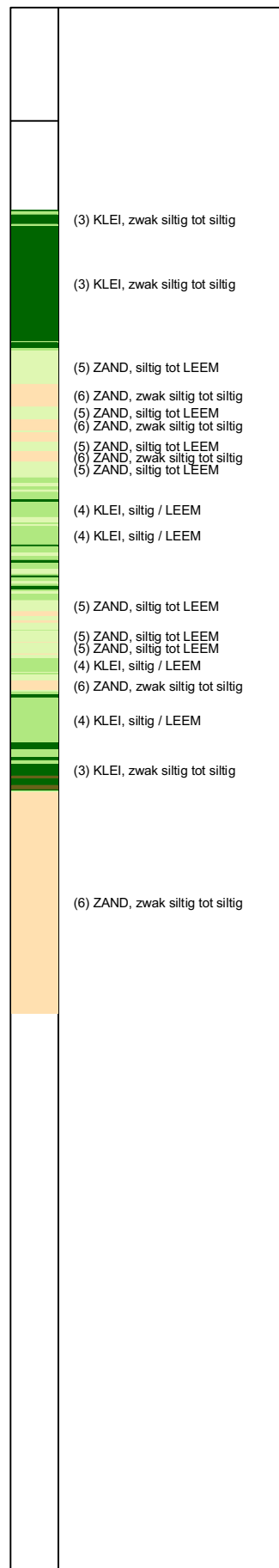


**SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING**  
 PARKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II  
 WATERSTAND = NAP - 0.21 m.

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S1-5



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



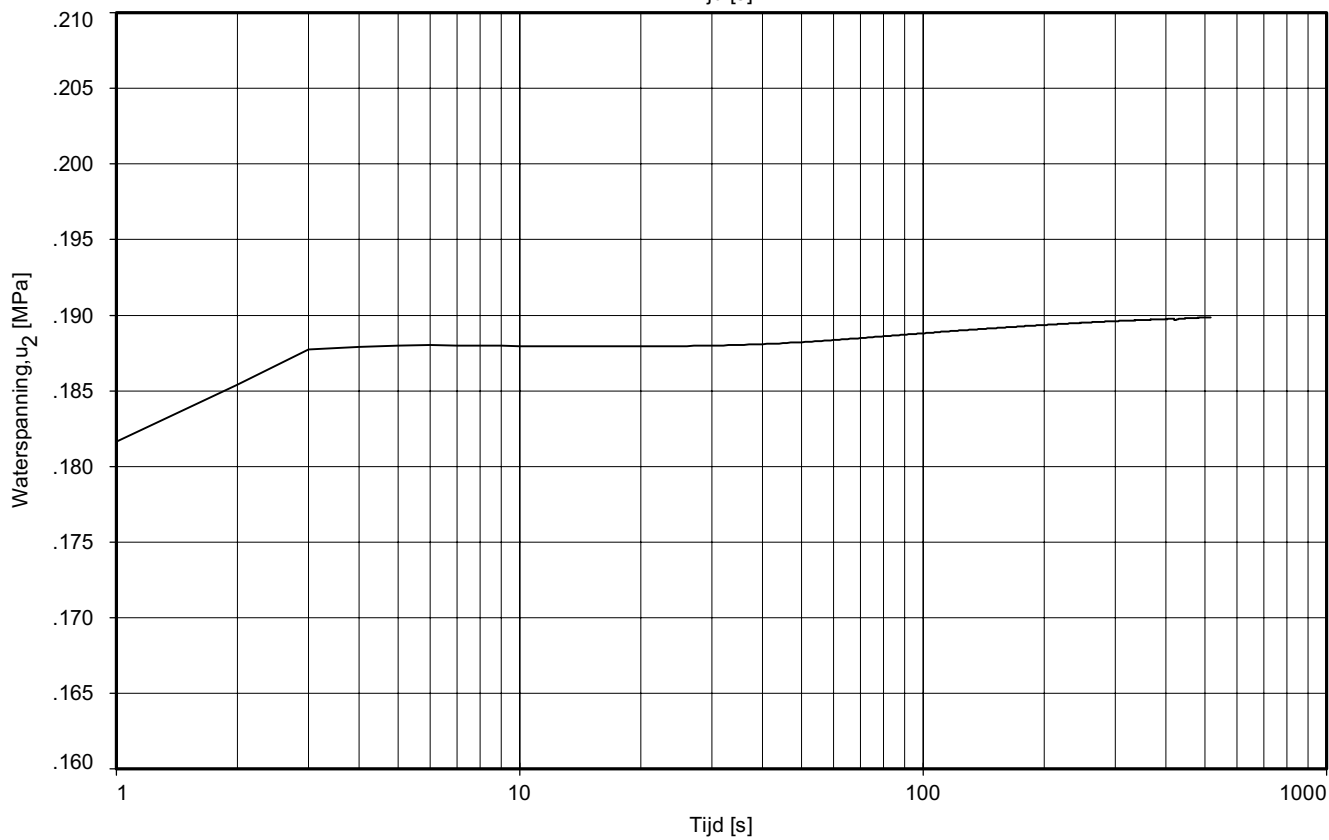
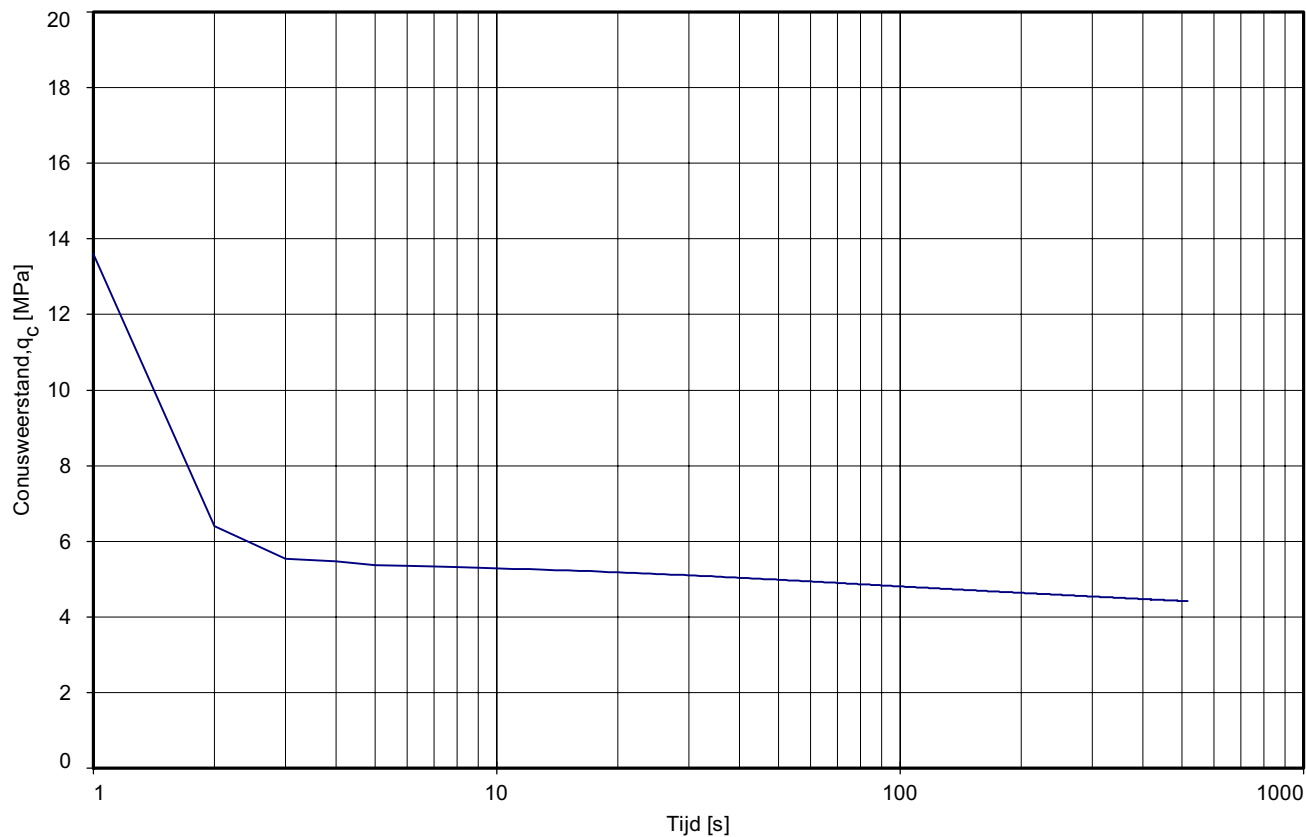
Opg.: RB/CHM d.d. 08-Sep-2011 conus : F5CKEZHAW<sub>2</sub>/B P1 X = 132777.1  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2011-09-22 BODEM = NAP -1.41 m Y = 499456.9

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conusstype cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**  
 PARKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II  
 WATERSTAND = NAP - 0.21 m.

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S1-5



Dissipatietest nummer	: 1		
Dissipatietest diepte	: NAP	-20.87 m	BODEM = NAP -1.41 m
Waterspanning begin dissipatietest	: 0.188 MPa		Opg. : RB/CHM d.d. 08-Sep-2011
Waterspanning einde dissipatietest	: 0.190 MPa		Get. : LEEUWEST d.d. 2011-09-22

DISSIPATIETEST  
 PARKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II  
 WATERSTAND = NAP - 0.21 m.

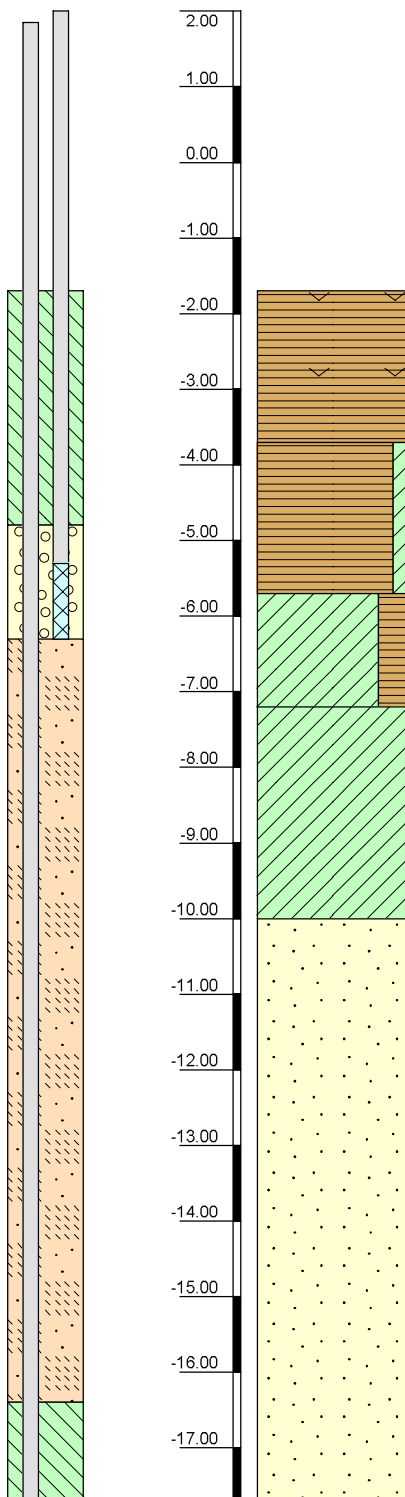
Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S1-5

**Boring: B3-5****Veldclassificatie**

Peilbuis Diepte (m tov NAP)  
3-5c 3-5a

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



-1.70 tot -3.70 Veen, zeer slap, resten schelpen, donker bruin

-3.70 tot -5.70 Veen, zwak kleilig, zeer slap, laagjes klei, donker bruin

-5.70 tot -7.20 Klei, sterk humeus, zeer slap, laagjes veen grijs

-7.20 tot -10.00 Klei, matig stevig grijs

-10.00 tot -19.50 Zand, uiterst fijn grijs

X: 133661.630

GWS (m tov NAP):

Bodem (m tov NAP): -1.70

Boorloeistof:

Y: 492885.610

GHG (m tov NAP):

bk PB3-5c (m tov NAP): 1.85

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 09/15/2011

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB3-5a (m tov NAP): 2.00

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: chm

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door: chm

**Boring: B3-5****Veldclassificatie**

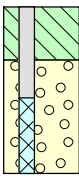
Pagina 2 van 2

Peilbuis  
3-5c

Diepte (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



-18.00

-19.00

-10.00 tot -19.50 Zand, uiterst fijn grijs

-19.50 tot -19.90 Zand, matig grof grijs

X: 133661.630

GWS (m tov NAP):

Bodem (m tov NAP): -1.70:

Boorvloeistof:

Y: 492885.610

GHG (m tov NAP):

bk PB3-5c (m tov NAP): 1.85

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 09/15/2011

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB3-5a (m tov NAP): 2.00

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: chm

bk PB3 (m tov NAP):

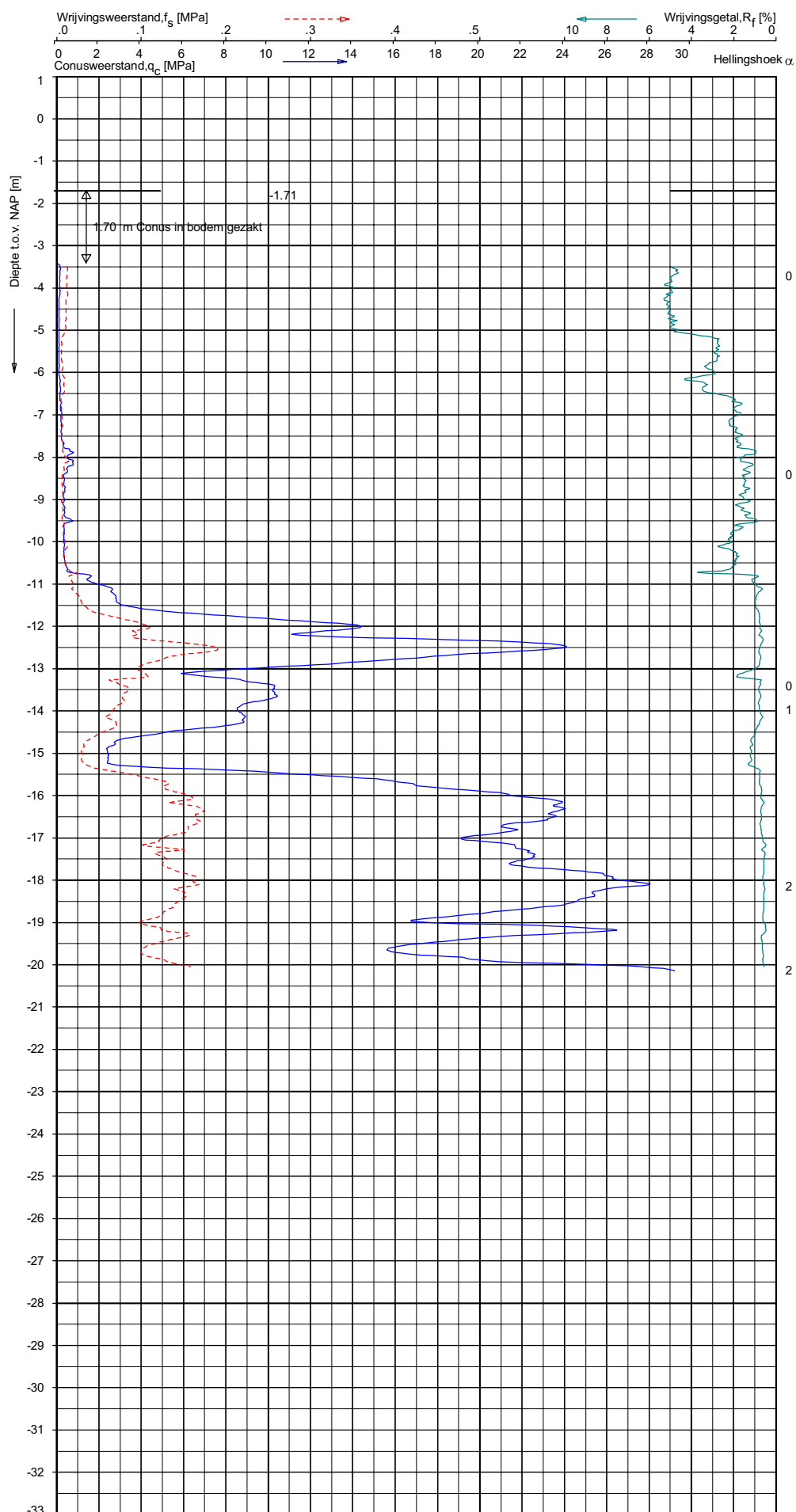
WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door: chm

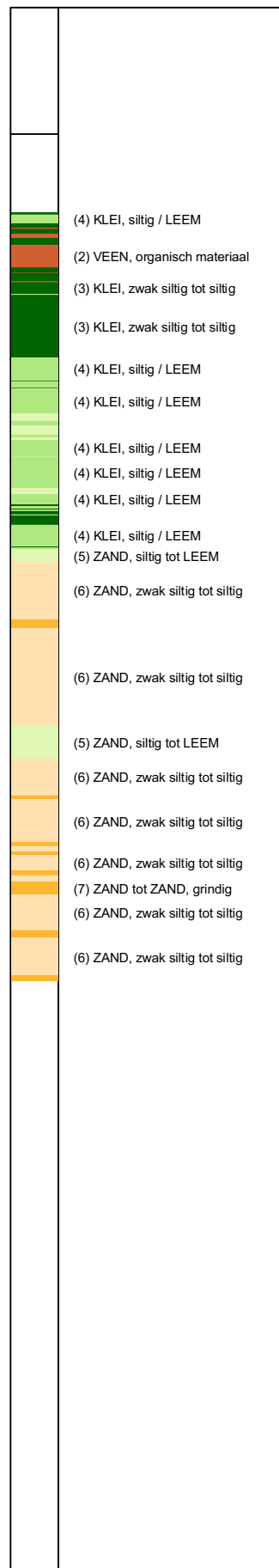
U:\NIP\OT\05\_16.nl\Bodproefclass-N3.cml\2011-09-22\_13:40:26

2111-0004-001

S3-5 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: RB/CHM d.d. 08-Sep-2011 conus : F5CKEZHAW<sub>2</sub>/B P1 X = 133661.5 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2011-09-22 BODEM = NAP -1.71 m Y = 492883.7 Conusstype cilindrisch elektrisch, 1000 mmφ. Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



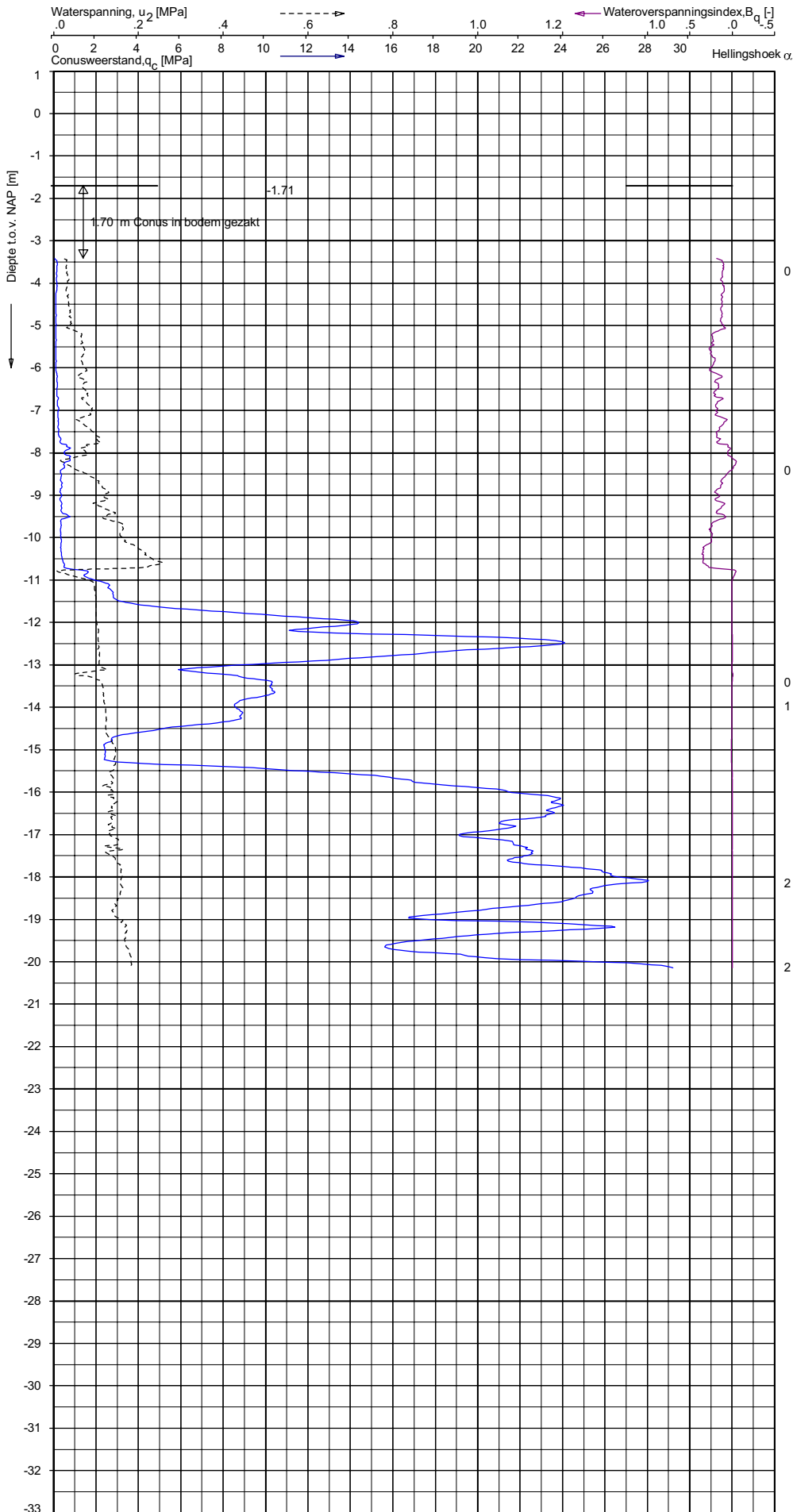
**SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING**  
 PARKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II  
 WATERSTAND = NAP - 0.21 m.

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S3-5

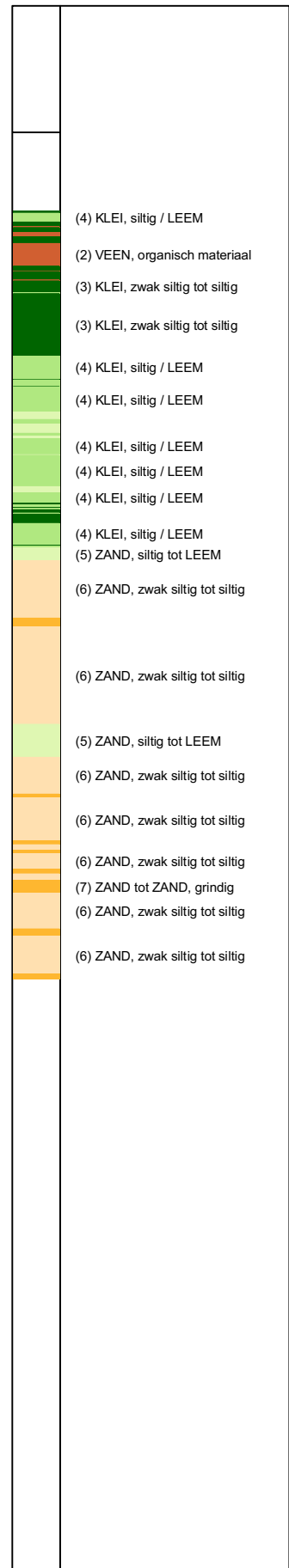
UNIPLOT 05.16.nl / Bodemclassificatie / 2011-09-22 13:41:28

2111-0004-001

S3-5 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

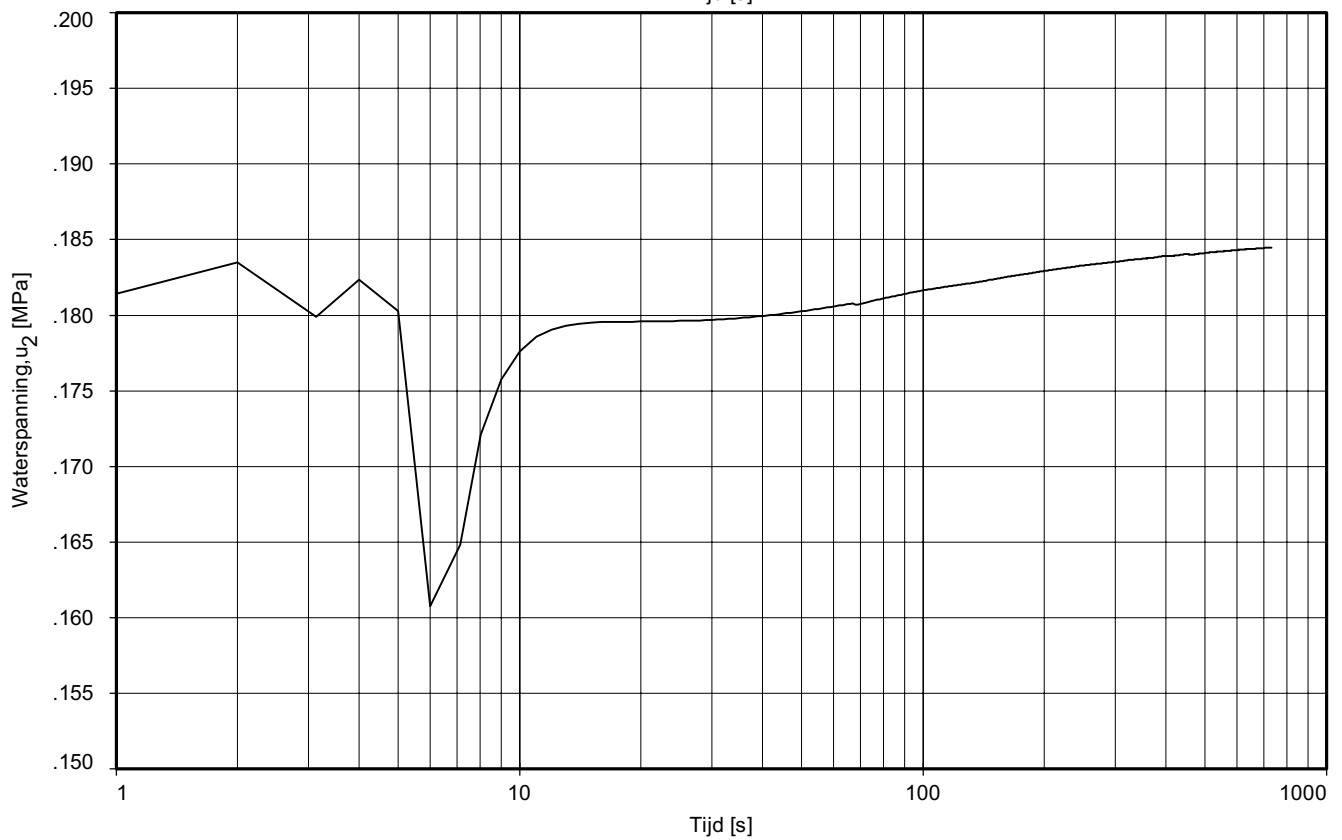
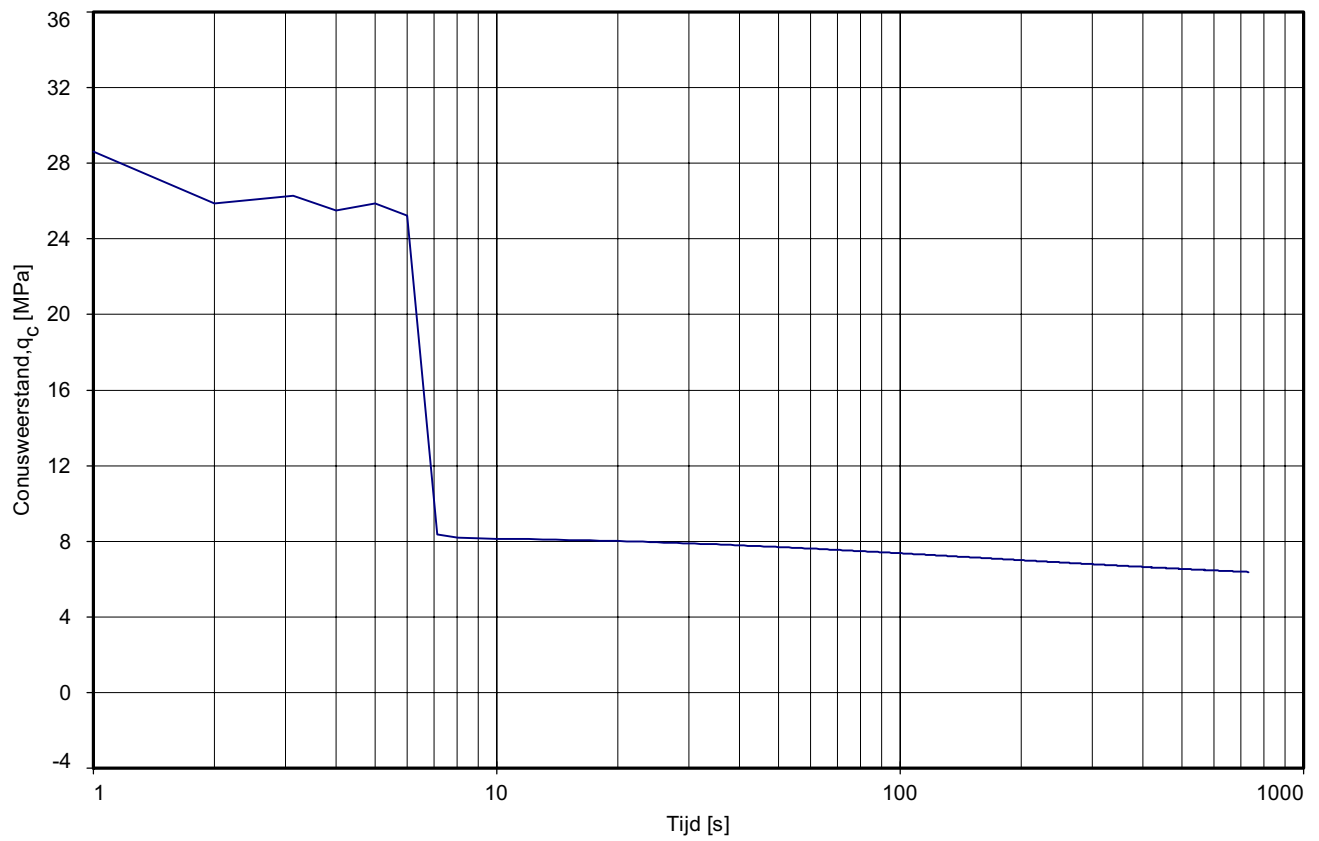


Opg.: RB/CHM d.d. 08-Sep-2011 conus : F5CKEZHAW<sub>2</sub>/B P1 X = 133661.5  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2011-09-22 BODEM = NAP -1.71 m Y = 492883.7  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conusstype cilindrisch elektrisch, 1000 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**  
 PARKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II  
 WATERSTAND = NAP - 0.21 m.

Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S3-5



Dissipatietest nummer	: 1		
Dissipatietest diepte	: NAP	-20.16 m	BODEM = NAP -1.71 m
Waterspanning begin dissipatietest	: 0.184 MPa		Opg. : RB/CHM d.d. 08-Sep-2011
Waterspanning einde dissipatietest	: 0.184 MPa		Get. : LEEUWEST d.d. 2011-09-22

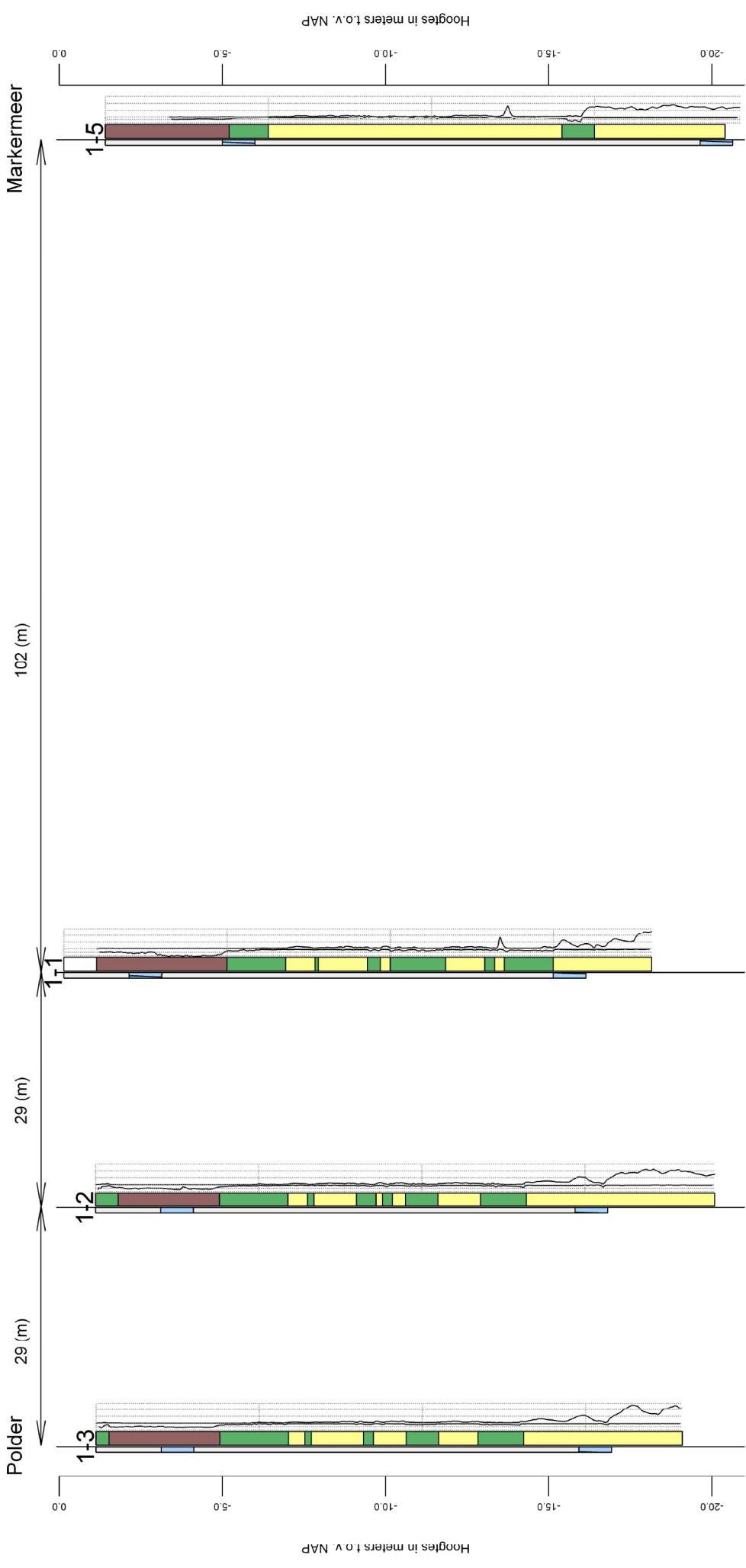
DISSIPATIETEST  
 PARKTIJKPROEF MARKERMEERDIJK FASE II  
 WATERSTAND = NAP - 0.21 m.

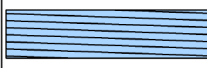






Opdr. 2111-0004-001  
 Sond. S3-5



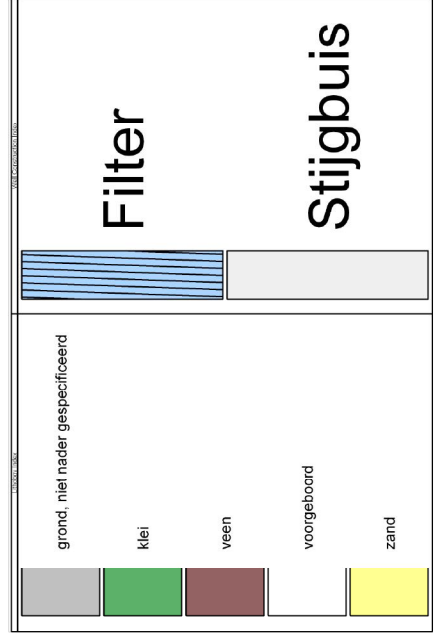
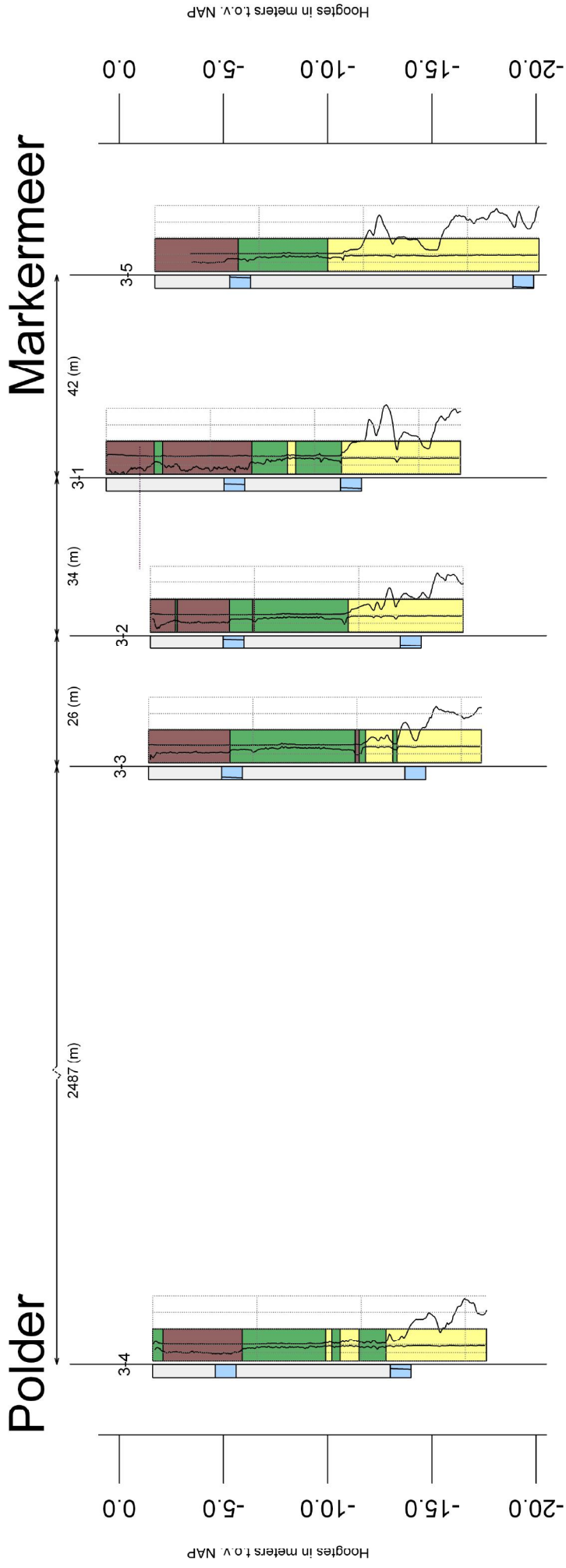
## **E Hydrogeologische secties peilbuisraaien**

# Hole to Hole section Raai 1

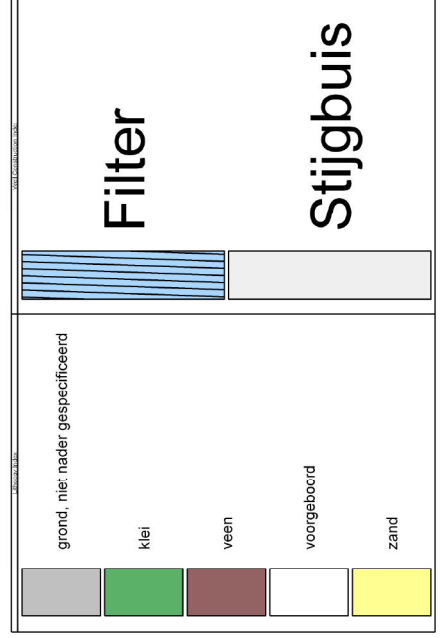
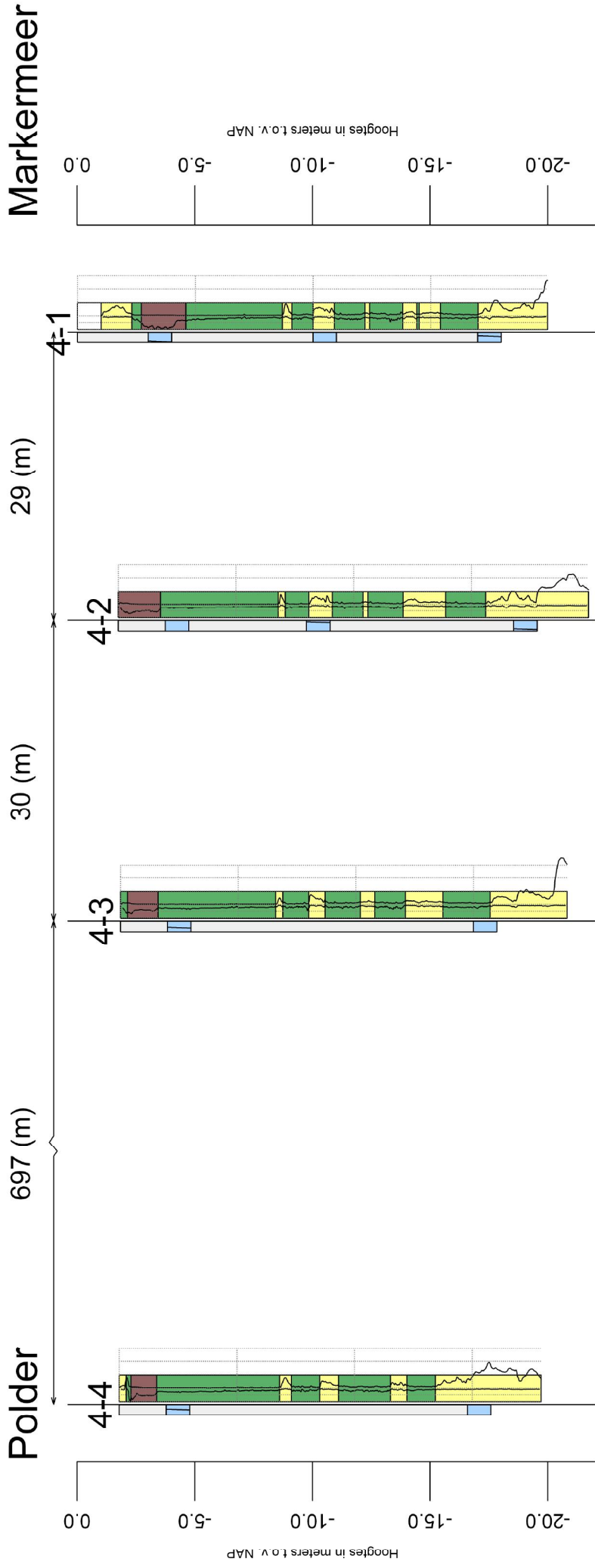


 <b>Filter</b>	 <b>Stijgbuis</b>			
 grond, nie: nader gespecificeerd	 klei	 veen	 voorgeboord	 zand

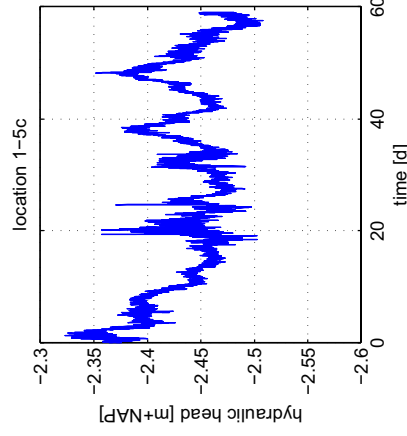
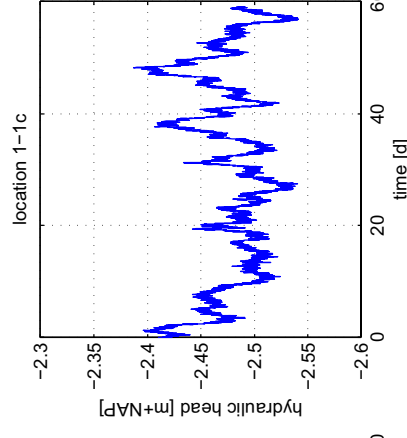
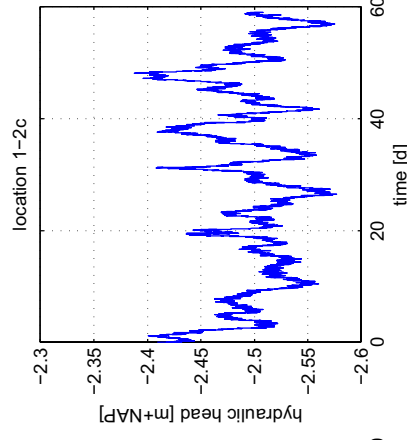
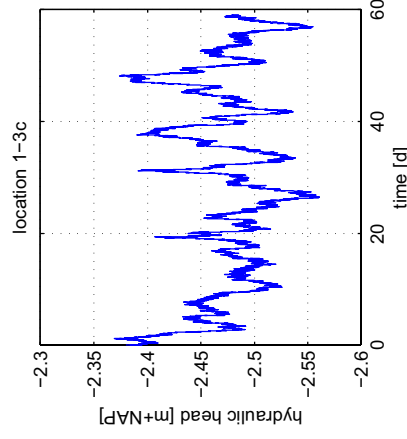
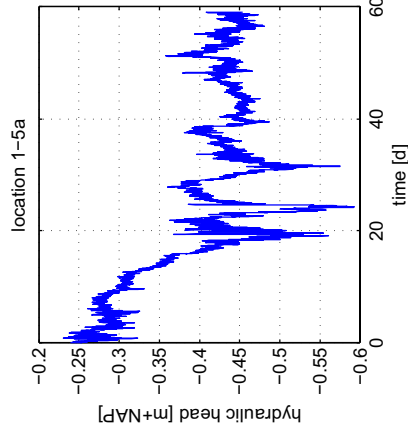
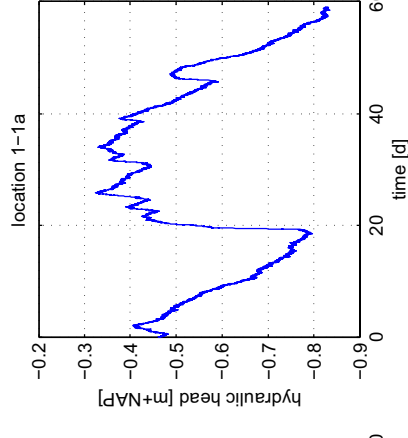
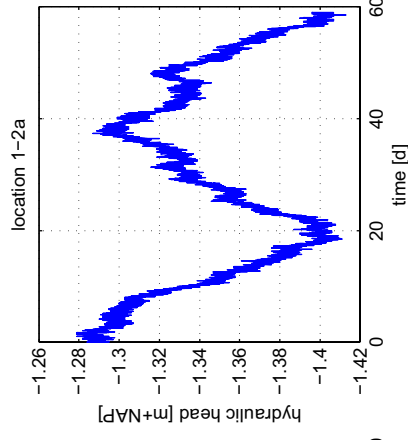
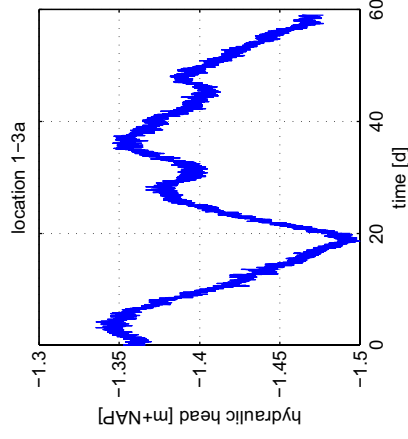
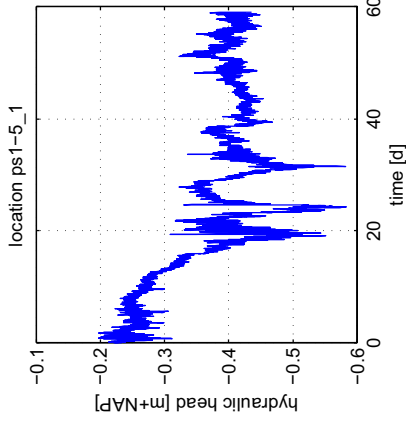
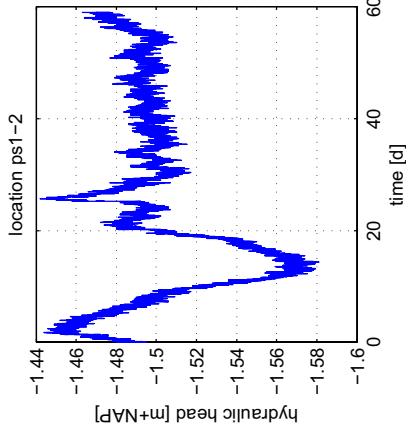
# Hole to Hole section Raai 3



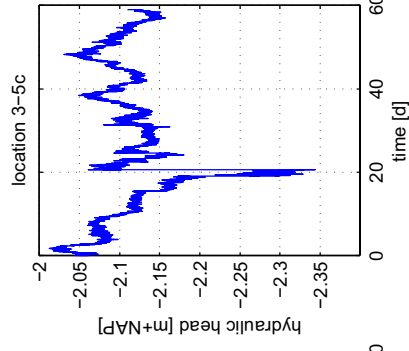
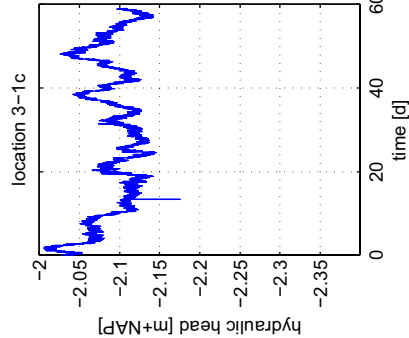
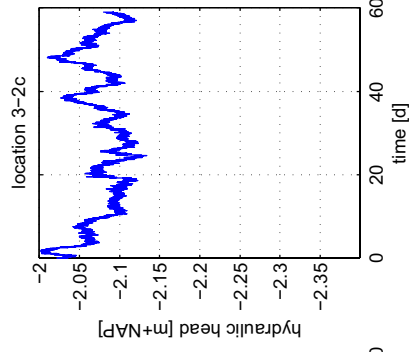
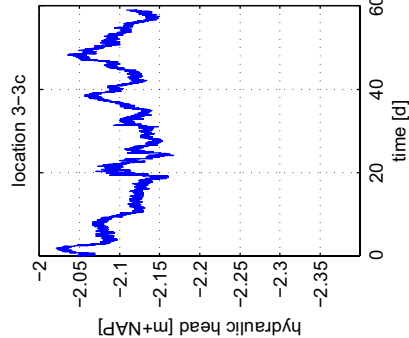
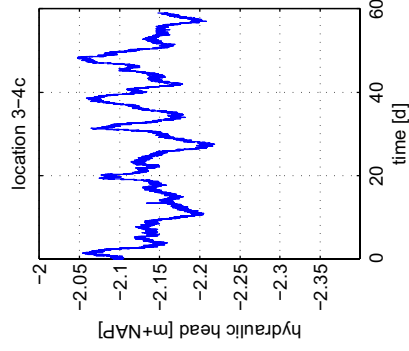
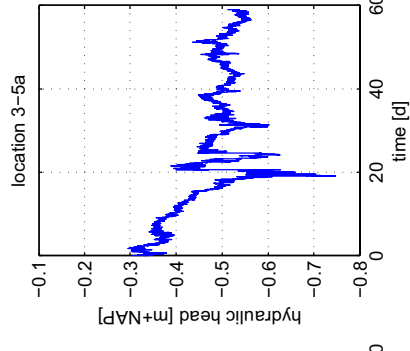
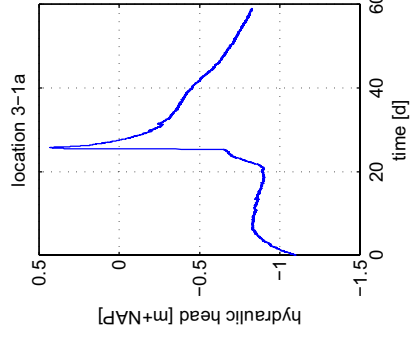
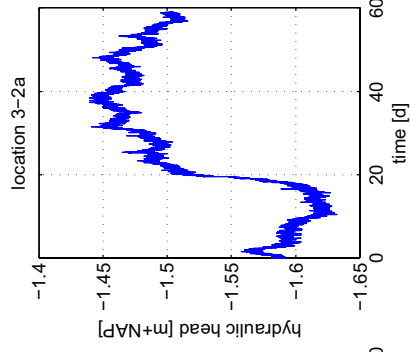
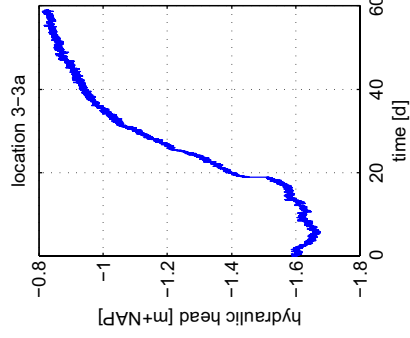
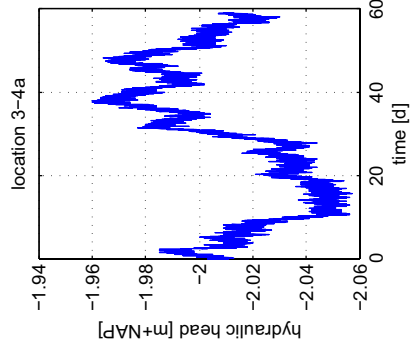
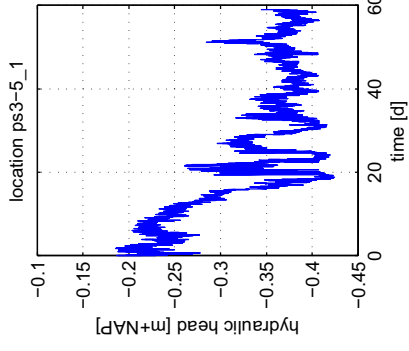
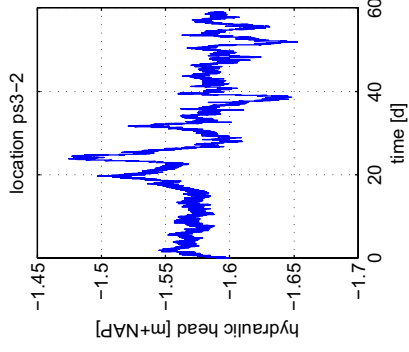
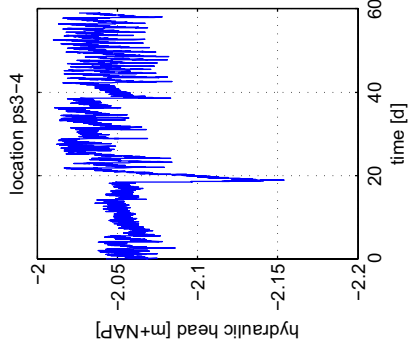
# Hole to Hole section Raai 4



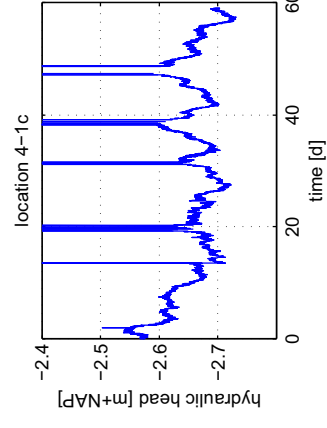
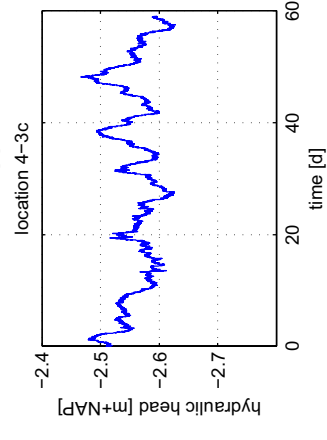
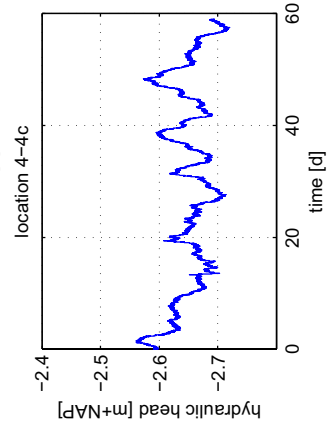
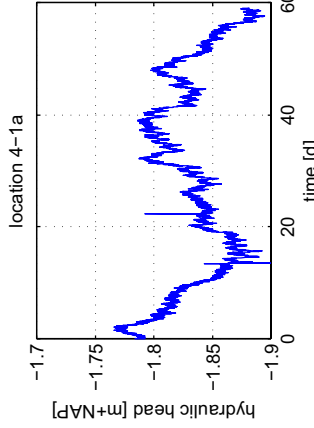
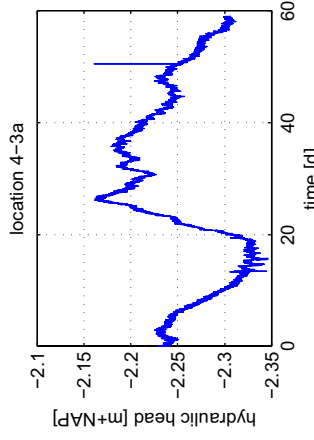
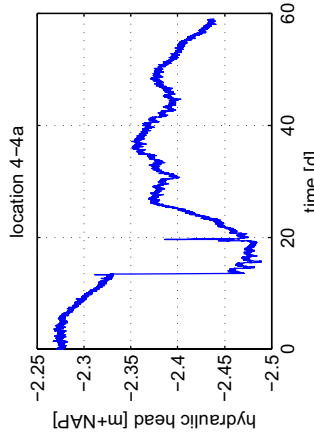
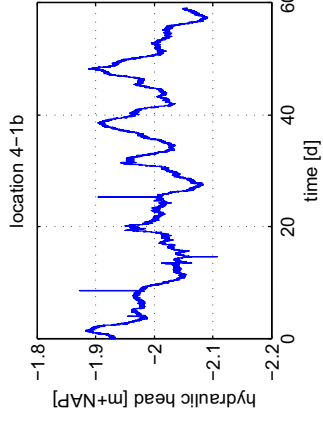
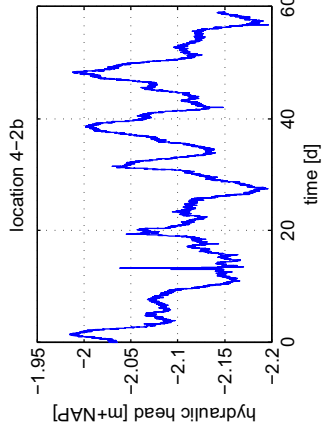
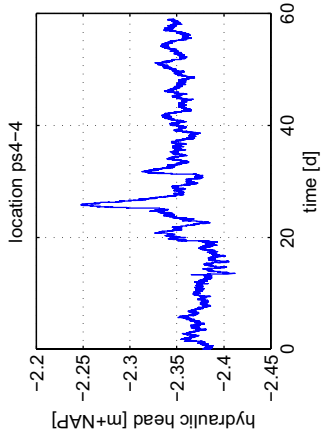
## **F Metingen peilbuizen raai 1, 3 en 4**



Stieljesweg 2, NL 2628 CK DELFT P.O. Box 177, NL 2600 MH DELFT		Telephone 31 (0) 88 33572 00 Telefax 31 (0) 15 261 08 21		Homepage: <a href="http://www.deltareis.nl">www.deltareis.nl</a>	
drw.	date				
Prk	2012-02-21				
c/c.	1203768				
Spt					
form.	Annex.F.1				
Hydraulic heads raai 1, t=0 days is 17/9/2011 a=hobocene, c=pleistocene, ps=surface water level					
<b>Markermeer Measurements</b>					



Stieljesweg 2, NL 2628 CK DELFT Telephone 31 (0) 88 33572 00 P.O. Box 177, NL 2600 MH DELFT Telefax 31 (0) 15 261 08 21 www.deltares.nl		date 2012-02-21	
Hydraulic heads raai 3, t=0 days is 17/9/2011 a=hobocene, c=pleistocene, ps=surface water level		drw. Prk 1203768	
Markermeer Measurements		cfc. Spt Annex.F.2	
		form. A3	



Stieltjesweg 2, NL 2628 CK DELFT Telephone 31 (0) 88 33572 00 P.O. Box 177, NL 2600 MH DELFT Telefax 31 (0) 15 261 08 21 www.deltares.nl		date 2012-02-21	
Hydraulic heads raai 4, t=0 days is 17/9/2011 a=holocene, c=pleistocene, ps=surface water level		drw. Prk 1203768	
Markermeer Measurements		form. A3 Annex.F.3	



## **D Heterogeniteit TU-Delft**

# **Stochastic Modelling of Heterogeneity**

Michael A. Hicks

Delft University of Technology  
Section of Geo-Engineering, Faculty of Civil Engineering and Geosciences  
PO Box 5048, 2600 GA Delft, Netherlands

Telephone +31 (0)15 27 87433; Email [m.a.hicks@tudelft.nl](mailto:m.a.hicks@tudelft.nl)



Report to Deltares

March 2012

## Contents

<b>1. Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Probabilistic modelling of slopes.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Heterogeneity and Eurocode 7.....</b>	<b>5</b>
<b>4. Reliability-based characteristic values.....</b>	<b>6</b>
<b>5. Stochastic approach to Eurocode 7.....</b>	<b>7</b>
<b>6. 3D reliability modelling of embankments.....</b>	<b>11</b>
<b>7. Conclusions.....</b>	<b>17</b>
<b>8. References.....</b>	<b>19</b>

## 1. Introduction

The inherent variability of geo-materials affects local material behaviour and global geo-structural response (Hicks, 2007). It also causes uncertainty with regard to on-site material conditions, and leads to statistical definitions of material properties, probabilistic analysis of geotechnical uncertainty, and quantification of global response in terms of reliability and probability of failure.

This report reviews the influence of heterogeneity on material behaviour and structure response. It starts by reviewing the use of stochastic methods in slope stability analysis. It then examines the link between heterogeneity and characteristic property values, as introduced in Eurocode 7, before describing a stochastic approach for deriving these values. In particular, the report examines the influence of heterogeneity on the performance of long slopes such as dikes, using an approach linking finite elements and random field theory, and investigates the validity of the plane strain assumption in 2D analysis given that variability is, in reality, three-dimensional. The influence of heterogeneity on 3D failure modes and slope reliability is considered, as is a strategy for reducing the computational costs of some very large 3D problems.

The report concludes by making recommendations for future research. In particular, more information is needed regarding the spatial variability of soils in the lateral plane, as this characteristic of heterogeneity plays a significant role in structure performance and reliability assessments. Furthermore, current Dutch practice employs a 2.5D approach to dike safety assessments (Calle, 1985). Given that it is now possible to conduct full 3D reliability analyses of slope stability (Hicks & Spencer, 2010), it seems appropriate to compare the 2.5D and 3D approaches, to see if further improvements in reliability assessments are possible. Such an investigation may also point to areas of potential efficiency gains in the maintenance and upgrading of dikes.

## 2. Probabilistic modelling of slopes

For slope stability analysis, probabilistic modelling has been conducted since the 1970's, mainly through the use of limit equilibrium methods linked to various statistical approaches (El-Ramly *et al.* (2002)). These include Monte Carlo simulation, and so-called "approximate" methods such as the first order second moment (FOSM) and point estimate methods. In addition, the modelling of soil variability has generally followed one of two approaches: for example, Duncan (2000), Harr (1987), Nguyen & Chowdhury (1985) and Tang *et al.* (1976) based their analyses only on the point statistics of the material properties, thereby implying an infinite spatial correlation of properties; in contrast, El-Ramly *et al.* (2002; 2003; 2005), Mostyn & Soo (1992), Schweiger & Peschl (2005) and Vanmarcke (1983) accounted for the spatial nature of soil variability by reducing the variance of material properties along selected failure planes as a function of the correlation distance and failure plane length. More recently, numerical methods have been seen as a viable alternative to the limit equilibrium method. For example, Paice & Griffiths (1997), Griffiths & Fenton (2000; 2004), Hicks & Samy (2002a, b, c; 2004) and Hicks & Onisiphorou (2005) used finite elements to compute failure mechanism development in slopes in which the spatial variability of soil properties was modelled by random field theory, an approach often referred to as the Random Finite Element Method (RFEM).

The applicability of finite elements for slope stability analysis, for example with respect to analytical or limit equilibrium approaches, has been discussed by Hicks & Boughrarou (1998)

and Griffiths & Lane (1999). Aside from computational costs (that may have previously been prohibitive), the finite element method has a number of advantages, including: (a) no prior assumptions regarding the failure mechanism are required; (b) interaction between different parts of the problem domain are accounted for; and (c) complex material behaviour, problem geometry, and boundary and loading conditions may be considered.

Griffiths & Marquez (2007) noted the almost universal use of 2D (plane strain) finite element modelling for slopes, due to it generally giving an efficient and conservative solution, and due to 3D modelling being more complicated with respect to both the solution method and accommodation of realistic boundary conditions in the third dimension. However, they also demonstrated the potential of 3D finite elements by analysing a range of homogeneous slopes.

This report considers the implications of heterogeneity on the behaviour of slope stability and is based on previous 2D studies (Griffiths & Fenton, 2000; 2004; Hicks & Samy, 2002a, b, c; 2004; Paice & Griffiths, 1997) and 3D studies (Hicks & Spencer, 2008; 2010; Hicks *et al.*, 2005; 2007; 2008); Spencer, 2007; Spencer & Hicks, 2007). These studies were similar in two respects: (a) they used local average subdivision (Fenton & Vanmarcke, 1990) to generate random fields of undrained shear strength ( $c_u$ ) for an idealised linear elastic, perfectly plastic soil; and (b) they used finite elements (Smith & Griffiths, 2004) to compute slope performance under gravity loading.

Paice & Griffiths (1997) and Griffiths & Fenton (2000; 2004) considered isotropic spatial variability in their slope analyses. They assumed a lognormal and depth-independent distribution for  $c_u$ , and derived curves relating reliability  $R$  and global factor of safety  $F$ . Griffiths & Fenton (2000; 2004) also highlighted the importance of considering the spatial aspect of soil variability, by comparing results with simple statistical analyses based only on the point statistics.

Hicks & Samy (2002a, b, c; 2004) adopted a similar approach. However, they assumed a normal distribution for  $c_u$ , arguing that the probability of negative property values was negligible for practical ranges of the coefficient of variation of  $c_u$  ( $0.1 < V < 0.3$ ). They also demonstrated the importance of modelling the anisotropy and depth-dependency of the heterogeneity (should these features be present on-site). Reliability was shown to be a function of the range of possible solutions of the boundary value problem. This range of solutions increases with  $V$  and with the scale of fluctuation ( $\theta$ ), and also with the range of possible failure mechanisms which can be heavily influenced by any depth-dependency in the statistics (Hicks & Samy, 2002a, b). Based on the computed relationship between reliability and global factor of safety, a procedure for deriving reliability-based characteristic values, in line with Eurocode 7, was demonstrated (Hicks & Samy, 2002c). These values were shown to be problem-dependent (Hicks & Samy, 2004).

Hicks *et al.* (2005; 2007) and Spencer (2007) extended the earlier 2D research on slope reliability to 3D, making use of parallel computing for solving very large problems. Spencer & Hicks (2007) focussed on the influence of heterogeneity on failure mechanisms and reliability, whereas Hicks *et al.* (2008) focussed on risk assessments by equating consequence of failure to the volumes of material involved in potential slides. Hicks & Spencer (2010) showed that, for long slopes of constant cross-section, three failure modes are possible, depending on the ratio of the horizontal scale of fluctuation to the slope size, as characterised by its height and length. For very small values of this ratio, the slope fails along its entire length and the result is similar to a conventional 2D analysis based on the mean strength. For intermediate values, discrete failures are likely and reliability is a function of slope length. For large values of the

ratio, the variability takes on a layered appearance and the result is equivalent to a 2D stochastic analysis. The validity of the boundary conditions were examined by analysing slopes of different length. It was shown that simple probability theory may be linked with stochastic analysis and finite elements to give efficient solutions for some large 3D problems.

### 3. Heterogeneity and Eurocode 7

Eurocode 7 states that the design value,  $X_d$ , of the soil property,  $X$ , is given by

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (1)$$

in which  $X_k$  is the characteristic value of  $X$  and  $\gamma_m$  is the partial safety factor. The value of the partial safety factor is defined by the Code. Hence, all engineering judgement is focused on the chosen characteristic value. In terms of the mean property value,  $X_m$ , it may be represented by

$$X_k = \alpha_x X_m \quad (2)$$

where  $\alpha_x$  is the reduction factor which generally lies in the range 0 to 1.

Table 1 lists a selection of paragraphs on characteristic values of geotechnical parameters, taken from Section 2.4.5.2 of EC7 (CEN, 2004; Hicks, 2012). Firstly, Paragraph 1 asserts the principle that characteristic values be “based on results and derived values from laboratory and field tests, complemented by well established experience”; whereas Paragraph 2 asserts the principle that the characteristic value be “selected as a cautious estimate of the value affecting the occurrence of the limit state”. The apparent vagueness of the term “cautious estimate” has led to some debate; while it seems to support the continued application of previous good practice, implying “no change”, there is little specific guidance within EC7 as to how characteristic values should be derived.

However, Paragraphs 3-12 present some points of reference, including Paragraph 4 which lists items to account for. In particular, “the variability of the measured property values” highlights the variable nature of soils; whereas, “the extent of the field and laboratory investigation” and “the type and number of samples” highlights the uncertainties that exist when determining property values, partly due to the variability itself and partly due to the constraints of field and laboratory testing. Meanwhile, “the extent of the zone of ground governing the behaviour of the geotechnical structure” indicates that the spatial characteristic of the variability is important. And finally, “the ability of the geotechnical structure to transfer loads from weak to strong zones in the ground” implies that the characteristic value is problem-dependent; that is, for the same ground conditions, the characteristic value will be different for different structures and different loading conditions.

Paragraphs 7-8 are an attempt to simplify matters for two limiting scenarios. Paragraph 7 considers the case when the zone of ground governing the structure performance is large, relative to the size of soil specimens tested in the laboratory and the zone of ground affected in an in situ test. It states that, in this instance, “the value of the governing parameter is often the mean of a range of values covering a large surface or volume of the ground”. However, there are two things that should be noted: (a) it is the domain size relative to the spatial scale of fluctuation that is important in assessing the relevance of the mean property value, not the domain size itself, nor its size relative to test samples and field tests although this may have an influence; (b) the mean value of a property over a potential failure surface may indeed be a reasonable choice for the characteristic value, but this value may differ

significantly from the mean for the domain of influence as a whole, due to the tendency of failure mechanisms to follow the weakest path. Hence, the challenge is to identify potential mechanisms and whether, and to what extent, the mechanisms are influenced by the spatial structure of the heterogeneity.

Paragraph 8 considers the other limiting scenario, when a cautious estimate of the extreme value of the ground property may be appropriate. This may be applicable in the following situations: (a) when the domain of influence is small relative to the scale of fluctuation, as is the case in local failure; (b) when deposition-induced heterogeneity results in semi-continuous weaker zones through which failure mechanisms can propagate (Hicks & Onisiphorou, 2005).

Paragraphs 10-11 concern the possible use of statistics. In particular, Paragraph 11 states that "the characteristic value should be derived such that the calculated probability of a worse value governing the occurrence of the limit state under consideration is not greater than 5%". This implies a minimum reliability of 95% for the geotechnical structure (before application of partial safety factors). It is important to realise that Paragraph 11 is not referring to a 95% confidence level for the property value itself, even though the footnote itself is.

The footnote to Paragraph 11 is an attempt to explain the implication of the paragraph for the two limiting cases discussed previously in Paragraphs 7-8. Firstly, it states that "a cautious estimate of the mean value is a selection of the mean value of the limited set of geotechnical parameter values, with a confidence level of 95%"; this situation applies when the domain of influence is large compared with the spatial scale of fluctuation characterising the variability. Secondly, it states that "when local failure is concerned, a cautious estimate of the low value is a 5% fractile"; this applies when the domain of influence is small compared to the scale of fluctuation. For these special cases, it is reasonable to use the respective mean and property value distributions to satisfy the requirements of Paragraph 11. However, most practical situations require a more general approach.

#### **4. Reliability-based characteristic values**

Figure 1 illustrates two approaches to deriving reliability-based characteristic property values. Firstly, Figure 1(a) shows the probability density function of a material property  $X$ . The simplest way to derive a reliability-based characteristic value of  $X$  is to proportion the areas under the distribution, as indicated in the figure. For example, for a reliability of  $R=95\%$ , the characteristic value  $X_k$  is that value of  $X$  that subdivides the area under the distribution into the ratio 1:19, as illustrated in the figure. However, this simple approach is only of limited use, as, for most practical situations,  $X_k$  will merely be the value of  $X$  for which there is a 95% probability of a higher value; it will generally not represent the reliability of the structure itself and will lead to an over-conservative value of  $X_k$ .

In order to satisfy the Eurocode 7 requirement for a reliability of 95% with respect to the performance of the structure, a modified distribution of  $X$  is required that takes account of the problem being analysed. Figure 1(b) shows that this distribution is different to the underlying property distribution in two respects: it is narrower, to account for the averaging of property values over potential failure surfaces within the soil mass; and its centre of gravity is shifted, to account for failure being attracted to weaker zones. In other words, with respect to the underlying distribution of  $X$ , the new "effective" distribution has a reduced variance and a lower mean; this is in contrast to traditional variance reduction techniques, in which no change in the mean is assumed, thereby raising the possibility of an un-conservative value of

$X_k$ . The reliability-based value of  $X_k$  satisfying EC7 is found by proportioning the area under the effective distribution of  $X$ , as indicated in the figure.

Note that the distribution of effective  $X$  has two limits. When the scale of fluctuation  $\theta$  is very small relative to the size of the domain of influence  $D$ , failure mechanisms pass through weak and strong zones alike and there is much averaging of soil properties. This leads to a very narrow distribution and, in the limit when  $\theta/D$  tends to zero, to a distribution with a variance of zero and a mean equal to that of the underlying distribution of  $X$ . In this case, the characteristic value is indeed a conservative estimate of the mean, as advocated by EC7. Conversely, when the scale of fluctuation is large relative to the domain of influence, there is a wide range of possible solutions and, in the limit when  $\theta/D$  tends to infinity, the distribution of effective  $X$  tends to the underlying distribution of  $X$ . In this case, the characteristic value can be taken directly from the underlying distribution, also in line with EC7. However, for intermediate values of  $\theta/D$  the distribution is as shown in Figure 1(b), with an intermediate variance and lower mean. In this case, the distribution is a function of the point statistics of the soil property, the scale of fluctuation of the soil property and the problem being analysed, as demonstrated by Hicks & Samy (2002a, b, c; 2004).

## 5. Stochastic approach to Eurocode 7

This section describes a stochastic approach for deriving reliability-based characteristic values and demonstrates its use for a simple 2D slope stability problem (Hicks & Samy, 2002c). The approach links random field theory, for generating spatially varying property distributions, with finite elements, for analysing structural response.

### 5.1. Basis of stochastic approach

Figure 2(a) shows the material property  $X$  varying with depth in a so-called uniform layer. In a deterministic analysis,  $X$  is represented by the mean or some other characteristic value. In contrast, stochastic analysis makes use of all data, by expressing them in the form of a probability density function, or pdf. These data may then be approximated by some theoretical distribution. For example, in Figure 2(b) the data are idealised as a normal distribution, defined by the point statistics of  $X$ . These are the mean,  $\mu$  ( $=X_m$ ), and the standard deviation about that mean,  $\sigma$ . A third statistical parameter, the scale of fluctuation,  $\theta$ , defines the degree of spatial correlation and is illustrated in Figure 2(a). Hence,  $\theta$  is a measure of the distance between adjacent 'strong' or 'weak' zones: as  $\theta$  gets larger, so the degree of spatial correlation increases, leading to a more uniform distribution of  $X$ .

Based on the derived statistics,  $\mu$ ,  $\sigma$  and  $\theta$ , it is possible to generate numerical predictions of the spatial distribution of  $X$ . These are known as random fields, a term which is something of a misnomer, since the fields are not random at all; rather, they are highly structured and dependent on the input statistics. Figure 3 shows two such random fields, as generated for a square domain of side length  $D$ . In both figures, the darker areas indicate higher values of  $X$ , and the lighter areas, lower values of  $X$ . In Figure 3(a), a small scale of fluctuation relative to the domain size has been used ( $\theta/D=0.1$ ): hence, there is a high degree of spatial variability. Conversely, a larger scale of fluctuation has been used in Figure 3(b) ( $\theta/D=1.0$ ), leading to greater uniformity. Note that, in both figures,  $\theta$  is equal in all directions: hence, these are examples of isotropic random fields. Furthermore, for a given set of statistics, there are an infinite number of possible random fields, each yielding a different solution. Stochastic analysis therefore involves repeated realisations as part of a Monte Carlo simulation process and, for stability assessments, this leads to reliability rather than a single factor of safety.



## 5.2. Outline of stochastic process

The stochastic procedure may be split into three stages: the pre-analysis stage, involving the preparation of statistical and material data; the analysis stage, comprising repeated realisations of the same problem as part of a Monte Carlo simulation; and the post-analysis stage, in which, the results of the realisations are themselves expressed in probabilistic form. The procedure is illustrated schematically in Figure 4 and outlined as follows.

### Pre-analysis stage (Figure 4(a)):

For a given material 'layer', the spatial variation of  $X$  is represented as a continuous random field, with the value of  $X$  at any point being a function of the statistics of  $X$ .

The point statistics may be derived from either in situ or laboratory data. However, in situ data are preferable, since these reduce the possibility of exaggerated estimates for the standard deviation, due, for example, to sampling or testing procedures. Furthermore, in situ data are needed anyway, for determining the scale of fluctuation. The following sequential process may be adopted:

- Any depth trend in  $\mu$  and/or  $\sigma$  is identified (cf. the example in Figure 2, in which  $\mu$  and  $\sigma$  are both depth-independent).
- Determine  $\mu(z)$  and  $\sigma(z)$ , which define the probability density function (pdf).
- Remove the depth trend from the raw data and determine the vertical scale of fluctuation,  $\theta_v$ ; for example, by using the method proposed by Wickremesinghe & Campanella (1993).
- By comparing closely-spaced property profiles, estimate the horizontal scale of fluctuation,  $\theta_h$ . This presents the biggest problem, as, unlike the process for determining  $\theta_v$ , it is subjective and difficult to automate. It may also require a high intensity of in situ testing.

### Analysis stage (Figure 4(b)):

For a given set of statistics, a series of random property fields are generated and the problem analysed to give a range of solutions.

Each random field of  $X$  is mapped onto the finite element mesh at the element (or integration point) level. This is an approximation, since  $X$  is thereby assumed to be constant over each element domain: that is, the field is discrete rather than continuous. The aim, therefore, is to generate a discrete random field in which the point statistics are adjusted (to account for the finite size of an element) so that they are equivalent to those of the original continuous field. For this purpose, Local Average Subdivision (LAS) may be used (Fenton, 1990; Fenton & Vanmarcke, 1990), so-named because of its use of local averaging theory (Vanmarcke, 1983).

For each realisation in the Monte Carlo process, the procedure is as follows:

- For each random variable, generate a discrete random field of  $X$ , based on  $\mu$ ,  $\sigma$  and  $\theta$ , and map these values onto the finite element mesh.
- Carry out finite element analysis.

### Post-analysis stage (Figure 4(c)):

The results of the realisations are presented in the form of a 'performance' pdf or cumulative distribution function (cdf). Structure performance may then be expressed in terms of reliability or probability of failure. Hence, for a reliability of  $R=95\%$ , there is an associated probability of failure of  $5\%$ . These quantities may be found by proportioning the area under a pdf, or by reading directly from a cdf.

### 5.3. Example computation

The use of stochastic analysis for determining characteristic values is illustrated by the example shown in Figures 5 to 10. This considers the stability of a 10m high, 1:2 slope, characterised by a spatially varying undrained shear strength,  $c_u$ , as reported by Hicks & Samy (2002c). The clay has been modelled using a linear elastic, perfectly plastic, Tresca soil model and the following elastic parameters: Young's modulus,  $E=10^5$ kPa; Poisson's ratio,  $\nu=0.3$ .

Figure 5(a) shows the problem geometry and finite element mesh details. The mesh comprises 1220, 8-node quadrilateral elements, with each element using  $2 \times 2$  Gaussian integration. This high level of discretisation is needed to accurately model the spatial variability, especially in the vertical direction in which the scale of fluctuation is small relative to the slope height. The boundary conditions are a fixed mesh base and rollers along the left-hand boundary allowing only vertical movement. The in situ stresses are based on a soil unit weight of  $20\text{kN/m}^3$ , and have been generated by applying gravitational forces in a single increment, in the manner described by Smith & Griffiths (2004).

The mean undrained shear strength increases linearly with depth, from 10kPa at the horizontal ground surface, to 50kPa at the base of the layer, i.e.

$$\mu(z) = 10 + 4z \quad (3)$$

in which  $\mu(z)$  is the mean value of  $c_u$  at depth  $z$ . The standard deviation also increases linearly with depth, and is defined by a constant coefficient of variation,  $V$ , of 0.3, in which  $V=\sigma/\mu$ . For all analyses,  $\theta_v=1.0$  m, while a range of values has been considered for  $\theta_h$ . Figure 5(b) shows a typical undrained shear strength distribution, for a degree of anisotropy of the heterogeneity of  $\xi=12$ , in which  $\xi=\theta_h/\theta_v$ . In this figure, dark and light zones indicate high and low values of  $c_u$ , respectively.

For a variability of zero, as assumed in a deterministic analysis, the stability of the slope may be quantified by

$$F = N \frac{c}{\gamma(z + MH)} \quad (4)$$

in which  $F$  is the deterministic factor of safety,  $H$  the slope height,  $\gamma$  the soil unit weight,  $c=c_u$  at depth  $z$ , and  $M$  and  $N$ , the stability coefficient and stability number, respectively, defined by Hunter & Schuster (1968). The stability number is itself a function of  $M$  and the slope angle,  $\beta$ . Therefore, for the present example,  $H=10\text{m}$ ,  $\beta=26.6^\circ$ ,  $\gamma=20\text{kN/m}^3$  and, assuming the undrained shear strength profile given by equation 5.24,  $M=0.25$ , which leads to  $N=8.0$  and  $F=1.6$ .

Figure 6(a) shows the computed deterministic response, by plotting mobilised factor of safety as a function of crest settlement,  $\Delta$ , non-dimensionalised with respect to the slope height,  $H$ . In this figure, the curve has been produced by conducting a series of separate one-increment analyses. Specifically, the  $c_u$  distribution has been changed, from one analysis to the next, by dividing the original  $c_u$  distribution (of 10-50kPa) by gradually increasing values of  $F$ . In each analysis, gravity loading has been applied and the crest settlement recorded, as indicated by the solid symbols in the figure. The limiting value of  $F$  is then the factor of safety of the slope for the original  $c_u$  distribution. This has been defined by an analysis failing to converge in 500 equilibrium iterations (Paice & Griffiths, 1997; Hicks & Samy, 2002a). The computed result of  $F=1.62$  is in close agreement with the analytical solution (shown in red).

Figure 6(b) shows the comparable stochastic solution, for  $\theta_h=\infty$ . In this case, there are an infinite number of possible  $c_u$  distributions. They will all look similar, as each will have been

generated using the same set of statistics. However, they will differ with respect to the distribution of strong and weak zones, and each will yield a different solution. Figure 6(b) shows the results of 30 realisations. It clearly demonstrates that spatial variability leads to a wide range of possible solutions, and that the mean stochastic response is weaker than the deterministic solution based on the mean property value. It is also obvious that traditional factors of safety are inappropriate and that some alternative definition of stability is desirable. This leads to the use of reliability.

Figure 7(a) expresses the results of 600 realisations, including the 30 shown in Figure 6(b), in the form of a pdf of  $F$  at failure, and approximates these results using a normal distribution. The value of  $F$  corresponding to a given level of reliability,  $R$ , may be found as illustrated in Figure 4(c); that is, by proportioning the area under the pdf, or by re-plotting the results in the form of a cdf, as in Figure 7(b). Hence, for  $R=95\%$ ,  $F=1.17$ , or, put another way, there is a 95% probability of the slope having a factor of safety greater than 1.17. Furthermore, the reduction factor defined in equation (2) (Section 3) may be found by dividing the value of  $F$ , corresponding to a given level of reliability, by  $F=1.62$ , the computed factor of safety based on the mean property value. Therefore, for  $R=95\%$ ,  $\alpha_{cu}=0.72$ .

The results shown in Figure 8 have been derived using an alternative, more direct procedure, as described by Paice & Griffiths (1997) and Hicks & Samy (2002a). The first step is to determine the mean  $c_u$  distribution for  $F=1.0$ , based on deterministic analysis: that is, the distribution of  $c_u$  corresponding to the slope at the point of failure assuming zero variability. This has been found by factoring down equation (3) by  $F=1.62$ , as computed in Figure 6(a), to give  $\mu=\mu_{F=1.0}=6.2+2.5z$ . Slope reliability has then been computed for different factors of safety and for different degrees of anisotropy of the heterogeneity, assuming  $V=0.3$  and  $\theta_v=1.0m$ .

Hence, for a given  $F$  and  $\xi$ , the statistics have been calculated in the following order:  $\mu=F\times\mu_{F=1.0}$ ;  $\sigma=V\times\mu$ ; and  $\theta_h=\xi\times\theta_v$ . Using this set of statistics,  $N$  random fields of  $c_u$  are generated, and each analysed in turn by applying gravity loading to the slope in a single increment. The percentage reliability is then given by

$$R = \left( \frac{N_f}{N} \right) \times 100 \quad (5)$$

in which  $N_f$  is the number of realisations in which slope failure occurs (as indicated by an analysis failing to converge in 500 equilibrium iterations). In this instance,  $N=600$  gave a reasonable level of convergence of the output statistics. Furthermore, for this example and for practical levels of reliability (i.e.  $90 < R < 100\%$ ), this number of realisations only takes around 5 minutes on a PC, due to the slope remaining stable in most cases.

Figure 8(a) shows  $R$  versus  $F$  for various values of  $\xi$ , and demonstrates the importance of considering the anisotropic nature of the heterogeneity. Increased anisotropy usually leads to a decrease in reliability, although there are exceptions to this rule, as illustrated by Hicks & Samy (2002a). However, Figure 8(a) also shows a converged solution for  $\xi > 12$ , which is a lower level of anisotropy than often encountered in practice. Hence, for some classes of problem it may not be necessary to have an accurate knowledge of  $\theta_h$ ; instead,  $\theta_h = \infty$  may be reasonably assumed (Hicks & Samy, 2002b). The figure further shows that, for  $F=1.0$  based on the mean property value,  $R$  is well below 100%. Indeed,  $F=1.0$  generally corresponds to  $0 < R < 50\%$  (Hicks & Samy, 2002a). In this example, for  $R \approx 95\%$ ,  $F \approx 1.4$ .

Figure 8(b) shows the same results as Figure 8(a), but now re-plotted as  $R$  versus the reduction factor for undrained shear strength,  $\alpha_{cu}$ , in which  $\alpha_{cu}=1/F$ . Hence, Figure 8(b) may be linked with equation (2) (Section 3) to derive reliability-based characteristic values of  $c_u$ .

Specifically, the characteristic value is that value, which, assuming zero variability, would give the same solution as a stochastic analysis for a given level of reliability. For example, for  $\xi=\infty$  and  $R=95\%$ , the characteristic distribution of  $c_u$  would here be obtained by using  $\alpha_{cu}=0.72$ . Figure 9 compares the  $\xi=\infty$  results from Figure 8(b) with the reliability-based reduction factors derived using Figure 7. This demonstrates good agreement between the two approaches.

Finally, Figure 10 shows typical contours of the shear strain invariant at failure, for four values of  $\xi$ . In this figure, the lighter contours indicate larger strains. Hicks & Samy (2002a) showed that reliability usually decreases as the range of solutions increases, for a given value of  $F$ . Apart from the obvious influence of the statistical values themselves, the range of solutions is also affected by the range of possible rupture surfaces, which, for the current application, is influenced by the variation of  $\mu$  with depth. For the intermediate case studied in this section, most rupture surfaces originate from the lower part of the slope. Figure 10 demonstrates how the shape of these surfaces is influenced by the degree of anisotropy of the heterogeneity: that is, for  $\xi=1$  the surface is often circular, while larger values of  $\xi$  may lead to slides with distinct basal characteristics.

## 6. 3D reliability modelling of embankments

The methodology developed in the previous section was extended to investigate the influence of three-dimensionality by Hicks & Spencer (2010).

### 6.1. Introduction

Figure 11 shows the geometry, with respect to a Cartesian  $x, y, z$  coordinate system, and finite element mesh details for a  $45^\circ$  slope that is 5 m high and 100 m long. The slope rests on a firm base and is characterised by clay with a spatially varying undrained shear strength,  $c_u$ . The boundary conditions include a fixed base and rollers on the back face preventing movement in the  $x$ -direction, whereas the ends of the mesh have rollers allowing movement only in the vertical ( $z$ ) direction. The possibility of allowing movement in the  $x$ -direction at the mesh ends was considered, but then rejected due to an apparent tendency for failure to be attracted to these boundaries. This was thought to be due to the implied symmetry of the random field about the mesh ends exaggerating the effect of weak zones in this area (Spencer, 2007). A test of the validity of the adopted boundary conditions has been included in this investigation.

The mesh comprises 8000 20-node brick elements of dimensions  $1.0 \times 1.0 \times 0.5$  m deep, except for along the sloping face of the mesh where the elements have been distorted to fit the slope geometry. Each element uses  $2 \times 2 \times 2$  Gaussian integration. Therefore, as the random field cell values have been mapped onto the mesh at the Gauss point level, each realisation uses 64000 values of  $c_u$ . Note that the element size has been chosen so as to adequately represent the spatial variability of  $c_u$ , especially in the vertical direction where the scale of fluctuation is small relative to the slope height. Based on the results of a parametric study for this boundary value problem (Spencer, 2007), a random field cell size of  $\theta_v/4=0.25$  m was found to be adequate. The larger finite element dimension in the horizontal plane was to minimise computer run times: this had a negligible influence on the quality of the random field due to  $\theta_h$  generally being larger than  $\theta_v$ . Note that, as each element has unit dimensions in the horizontal plane, the value of  $c_u$  applied to each Gauss point is the average of 4 adjoining random field cells (i.e. the average of 2 cells in both the  $x$  and  $y$  directions), as illustrated in Figure 12.

The clay has been modelled using a linear elastic, perfectly plastic Tresca soil model, with the elastic component being defined by Young's Modulus,  $E=100,000$  kPa, and Poisson's Ratio,  $\nu=0.3$ . The undrained shear strength has been modelled using a truncated normal distribution to prevent the possibility of negative values, as in previous investigations (Hicks & Samy, 2002a, b, c; 2004), and the following statistics: a depth-independent mean,  $\mu$ ; coefficient of variation,  $V=0.3$ ; and vertical scale of fluctuation,  $\theta_v=1.0$  m. The horizontal scale of fluctuation ( $\theta_h$ ) has been varied in the range,  $1.0 < \theta_h < 1000.0$  m, to investigate its influence on computed response.

The slope has been loaded by applying gravitational loading in a single increment to generate the in-situ (total) stresses (Hicks & Samy, 2002a; Smith & Griffiths, 2004), assuming a soil unit weight of  $20$  kN/m<sup>3</sup>. This has been achieved using a viscoplastic algorithm and the slope is deemed to have failed if the equilibrium iteration count reaches 500. The same definition of failure has been used previously (Griffiths & Fenton, 2000; 2004; Hicks & Samy, 2002a, b, c; 2004; Paice & Griffiths, 1997), and has been validated for the current study by examining the factor of safety versus crest settlement response for selected realisations of the spatial variability (Spencer, 2007).

## 6.2. Monte Carlo simulation

The aim of the analysis is to determine the relationship between reliability  $R$  and global factor of safety  $F$ , where  $R$  is the probability of failure not occurring and  $F$  is the computed factor of safety based only on the mean undrained shear strength,  $\mu$  (i.e. assuming no spatial variability in  $c_u$ ).

For this investigation, the mesh in Figure 11 was first used with the strength reduction method to determine the mean  $c_u$  corresponding to  $F=1.0$  for a homogeneous slope (i.e.  $\mu_{F=1.0}$ ). This is illustrated by the strength reduction factor (SRF) versus maximum settlement plot shown in Figure 13. In this case, the slope was assigned an undrained shear strength of  $40$  kPa, and then the slope was repeatedly analysed for lower values of  $c_u$  by scaling down the original  $c_u$  by larger values of  $SRF$ . Hence, the SRF to cause slope failure is the factor of safety of the slope for  $c_u=40$  kPa. In Figure 3, the value of  $c_u$  that caused the slope to be just at the point of failure was  $16.1$  kPa, which agrees closely with the Taylor (1937) solution of  $16.3$  kPa. The figure also shows that the limit of 500 equilibrium iterations has been successful in defining failure.

Once  $\mu_{F=1.0}$  has been found, the Monte Carlo simulation can begin. Hence, for given values of  $F$  and  $\xi$ , the statistics of  $c_u$  are computed as follows:

$$\mu = \mu_{F=1.0} \times F \quad (6)$$

$$\sigma = \mu \times V \quad (7)$$

$$\theta_h = \theta_v \times \xi \quad (8)$$

where  $\mu_{F=1.0}=16.1$  kPa,  $V=0.3$  and  $\theta_v=1.0$  m. These statistics are used to generate  $N$  random fields of  $c_u$ , and the slope is then analysed for each field in turn by finite elements. The reliability of the slope is the proportion of realisations for which the slope remains stable and, when expressed as a percentage, is given by

$$R = \left( \frac{N_f}{N} \right) \times 100 \quad (9)$$

where  $N$  is the total number of realisations and  $N_f$  is the number of realisations in which slope failure occurs, as indicated by an analysis failing to converge in 500 equilibrium iterations. In this study,  $N$  is 500 for the 3D analyses and 1000 for the 2D analyses.

For computing the distribution of  $R$  with  $F$  (for a given  $\xi$ ), the simplest procedure is to repeat equations (6)–(9) for different values of  $F$ . In this case, it is more efficient to start with the same untransformed  $N$  random fields for each value of  $F$ . Note that generating the random fields is relatively inexpensive: however, useful efficiency gains are possible by starting with a high value of  $F$  (for which  $R \approx 100\%$ ) and then re-analysing the slope for the same fields for progressively lower values of  $F$  (Hicks & Samy, 2002a, b, c; 2004). This is because the number of realisations to be analysed can be reduced to mirror the decrease in  $R$  at lower values of  $F$ : that is, if the slope fails for a particular random field at a given value of  $F$ , it will also fail at lower values of  $F$  and can therefore be removed from the simulation. This process is particularly efficient since it avoids the unnecessary analysis of those realisations with high iteration counts. (This is in contrast to starting from a low value of  $F$ , and computing  $R$  as  $F$  is increased; for this case, each realisation would be terminated when the slope changes from a failed state to a safe state.)

This investigation uses a variation on the above algorithm to allow more accurate modelling of the  $R$ – $F$  response (Spencer, 2007). Having generated  $N$  random fields of  $c_u$  for a high value of  $F$ , the slope is analysed for each field in turn until slope failure occurs. Hence, each realisation of the Monte Carlo simulation involves the repeated finite element analysis of the slope for progressively lower values of  $F$ , using the same underlying spatial distribution of  $c_u$ , but with the actual values of  $c_u$  being scaled down from the original field. The realisation continues until the value of  $F$  at failure is found. Initially  $F$  is decreased in large increments, but the incremental change in  $F$  is reduced as a function of the increasing number of equilibrium iterations needed to achieve convergence (Spencer, 2007). This allows  $F$  at failure to be computed to a high degree of accuracy, in this case to within an absolute error tolerance of 0.01. Note that the algorithm strives to approach the correct solution from above, so that the computation time is minimised. This may be contrasted with the method of bisection, which approaches the solution from above and below, leading to large iteration counts for over half the analyses. The reliability for any  $F$  is again given by equation (9), although, in this case,  $N_f$  is the number of realisations in which slope failure occurs at or above the chosen value of  $F$ . The resulting  $R$ – $F$  response may have a slightly stepped appearance when  $F$  at failure is computed to a high degree of accuracy, but this does not indicate a problem with the analysis (and may be rectified, if necessary, through increasing the number of realisations). The previous algorithm used in Hicks & Samy (2002a, b, c; 2004) gave smoother curves for  $R$  versus  $F$ , but only because  $R$  was being interpolated between values computed at relatively large (user-specified) intervals of  $F$ .

### 6.3 Results

For comparative purposes, Figure 14 shows the influence of  $\xi$  on reliability  $R$  versus global factor of safety  $F$  assuming plane strain conditions. This has been obtained using a 2D mesh equivalent to the 3D mesh in Figure 11. Hence it uses 80 8-node quadrilateral elements, each with  $2 \times 2$  Gaussian integration. The analysis details are the same as in Hicks & Samy (2002a), except for the new approach to computing  $R$  and minor improvements in the method of generating and mapping the random fields, and the results are also comparable (Spencer, 2007). The figure shows that, for all values of  $\xi$ ,  $R < 50\%$  at  $F = 1.0$ , due to failure being attracted to the weaker zones and avoiding (where possible) the stronger zones. Note that the distributions are relatively wide for all values of  $\xi$ , due partly to the chosen value of  $V$  and partly to the implied infinite scale of fluctuation in the third dimension (which means that averaging of properties over the rupture surface occurs only in two dimensions). Also, the width of the distribution increases with  $\xi$ : this leads to a reduction in  $R$  at higher values of  $F$ , due to the greater range of possible solutions making failure more likely. Conversely, at low

values of  $F$  a higher value of  $\xi$  makes failure less likely (Hicks & Samy, 2002a). Hicks & Samy (2002a, b, c; 2004) noted the convergence in the distributions at values of  $\xi$  below those often encountered in practice; for example, Figure 14 shows convergence at  $\xi > 6$  (cf. man-made deposits in which  $5 < \xi < 25$  and natural deposits in which  $\xi > 25$  (Hicks & Samy, 2002b)). They suggested that this was encouraging, since the horizontal scale of fluctuation is difficult to measure in practice.

Figure 15 shows the equivalent  $R$  versus  $F$  response for the full 3D model. (Note that  $F$  is now defined relative to the 3D homogeneous solution, although, for the current application, this also approximates to the plane strain homogeneous solution as seen in Figure 13.) In broad terms, three failure modes have been identified, as illustrated by the typical deformed meshes and contours of horizontal (out-of-face) displacement shown in Figure 16. These modes depend on the value of  $\theta_h$  relative to slope geometry, as defined by the slope height ( $H$ ) and length ( $L$ ), and are summarised as follows:

- Mode 1: For  $\theta_h < H$ , the scales of fluctuation ( $\theta_v$  and  $\theta_h$ ) are not large enough to allow failure through semi-continuous weaker zones. Instead, failure occurs through weak and strong zones alike and there is much averaging of properties over the rupture surface. Indeed, this averaging is considerably larger than in the equivalent 2D analysis, due to the 3D rupture surface being much larger in area. It therefore traverses more random field cells, so that the mean  $c_u$  over the surface tends toward the target mean ( $\mu$ ). This leads to a narrow range of solutions, with  $R$  increasing rapidly from 0–100% as  $F$  passes through 1.0 (Figure 15), and to failure initiating from the slope toe and extending along the length of the slope (Figure 16a). Hence, the solution is similar to that for a 2D deterministic analysis based on  $\mu$ . Figure 17 shows the  $R$  versus  $F$  response for isotropic heterogeneity. It is seen that the  $\theta/H=0.4$  ( $\theta_v=\theta_h=2$  m) result is similar to the  $\xi=2$  ( $\theta_h=2\theta_v=2$  m) result from Figure 15. This suggests that, for Mode 1 failure, reliability is mainly influenced by the horizontal scale of fluctuation.
- Mode 2: For  $H < \theta_h < L/2$ , the horizontal scale of fluctuation is large enough for failure to occur through horizontal (semi-continuous) weaker zones, leading to discrete failures (Figure 16b). Failure usually initiates from weaker zones near the slope toe (due to the influence of slope height for a depth-independent  $\mu$ ). However, rupture surfaces often move away from the base of the slope for short sections in order to avoid zones of higher stability number (that is, higher  $c_u$  to depth ratio). The width of the failed zone is often around  $2 \times \theta_h$ : for lower values of  $\theta_h/L$  there is an increased possibility of independent multiple failures, whereas for larger  $\theta_h/L$  there is an increased possibility of interaction between mechanisms. Obviously, as  $\theta_h$  approaches  $L/2$  there is an increased influence of the end boundary constraints. Note that, for this failure mode,  $R$  is a function of  $L$ : that is, as the slope gets longer  $R$  reduces due to the increased chance of encountering a zone weak enough to trigger failure. Moreover, Figure 15 shows that, for lower values of  $\theta_h/L$ ,  $R$  is near 0% at  $F=1.0$ . This is due to Mode 1 failure still being a possibility.
- Mode 3: For  $\theta_h > L/2$ , the soil takes on a layered appearance and failure extends along the length of the slope (Figure 16c), rather like Mode 1. However, in contrast to Mode 1, there is a large range of possible solutions, depending on the location (that is, depth) of the weaker layers. Spencer (2007) showed that multiple failures are also possible (though less frequent than for Mode 2). In this case, compound (“nested”) mechanisms may be observed (that is, a shallower mechanism within a deeper mechanism), when two layers of similar stability number are present in one realisation. (Compare with Mode 2 failure, which may involve mechanisms at different locations along the slope.)

Mode 3 failure is analogous to a 2D stochastic analysis, which implicitly assumes an infinite scale of fluctuation in the third (out-of-plane) dimension. Figure 15 shows good agreement between the 2D and 3D solutions for  $\xi=1000$ , suggesting that the end boundary conditions have not had a significant influence on the results.

Figure 18 considers example slope failures for the case of  $\xi=6$  (Mode 2), to investigate whether there is any link between failure mechanism and the value of  $F$  at which slope failure occurs. Looking down on the slope from above, the figure shows contours of horizontal (out-of-face) displacement at failure for six realisations. The figure indicates that, as  $F$  increases, there is a tendency for failure volumes to become smaller. This was more rigorously tested by Hicks *et al.* [2008], who devised a simple automated strategy for estimating the distribution of failure volumes for all realisations in the simulation. Although it was found that a wide range of failure volumes was possible for most values of  $F$ , the general finding of Figure 18 was reinforced: that is, at higher values of  $F$  the risk is reduced, due to (a) lower probabilities of failure, and (b) smaller failure volumes.

#### 6.4. Influence of slope length

The influence of slope length on reliability for Mode 2 failure is now investigated. For  $H < \theta_h < L/2$ , slope instability is mainly associated with discrete failures in zones of weak material. Hence, if the slope length is doubled, the chances of encountering a critical weak zone are increased and  $R$  reduces (Hicks & Spencer, 2008).

Basic principles of probability theory can be used to predict the effect of slope length on the reliability curve. For example, consider an arbitrary slope of length 50 m, for which the reliability at  $F = 1.1$  is 40%, that is

$$P(L_{50}) = 0.4 \quad (7)$$

To predict the reliability of an equivalent 100 m slope (that is, a slope of the same cross-sectional geometry and with the same material property statistics), it may be assumed that the event of failure not occurring in each half of the slope is independent. (This should at least be reasonable when  $\theta_h$  is small relative to  $L$ .)

For two independent events,  $A$  and  $B$ , the intersection of  $A$  and  $B$  (i.e. the probability of their both occurring) is the product of their individual probabilities, that is

$$P(A \cap B) = P(A)P(B) \quad (8)$$

Reliability is the probability of failure not occurring, and so the intersection gives the probability of neither half of the slope failing. The reliability of a 100 m slope is therefore given by

$$P(L_{100}) = P(L_{50} \cap L_{50}) = P(L_{50})P(L_{50}) = 0.4 \times 0.4 = 0.16 \quad (9)$$

where  $P(A)$  and  $P(B)$  are both replaced by  $P(L_{50})$ , the probability of failure not occurring in the 50 m slope. Hence the reliability of the 100 m slope (for any  $F$ ) is the reliability of the 50 m slope raised to the power two, that is

$$P(L_{100}) = P(L_{50})^2 \quad (10)$$

Similarly, the reliability of a slope three times as long would be  $P(L_{50})^3$  and, in general,

$$P(L_A) = P(L_B)^{\frac{L_A}{L_B}} \quad (11)$$

where the two slope lengths are given by  $L_A$  and  $L_B$ .

By using equation (14), together with the reliability curve for a single slope length, it should be possible to predict the reliability for all other slope lengths, assuming that the original



length is representative of all lengths. However, by experimenting with variations of equation (14), it was found that a best fit for the results could be obtained by reducing the length of the slope by twice the slope height (in the power term); that is, by adopting the relationship

$$P(L_A) = P(L_B)^{\frac{L_A - 2H}{L_B - 2H}} \quad (12)$$

The need for this modified formula is thought to be due to the specified boundary conditions at the ends of the mesh: that is, the prevention of movement in the x-direction means that failure is less likely in these regions, so that the effective length over which slope failure occurs is somewhat less than L. The reduction by 2H may be interpreted in terms of an idealised slide geometry assuming spherical ends: that is, for a toe failure less than H from one of the mesh ends the full mechanism would not be possible. Note that equation (15) breaks down as  $L \rightarrow 2H$ , due to the end conditions then preventing the full mechanism. Figure 19 illustrates the range over which equation (15) is predicted to be valid, which includes the necessary bounds on  $\theta_h/L$  for Mode 2 failure.

Of course, the above argument implies that, for an analysed slope of length L, the effective slope length due to end effects is really  $L - 2H$ , and that equation (15) may instead be expressed as

$$P(L_A - 2H) = P(L_B - 2H)^{\frac{L_A - 2H}{L_B - 2H}} \quad (13)$$

However, the results in Figure 20 have been expressed in terms of actual slope length, although the results for effective length may be easily inferred (that is, by redefining the horizontal axis as  $L + 2H$ ). The implication is that, when analysing the probability of Mode 2 failure for a real slope in 3D, the analysed slope length may need to be increased by 2H (though this will depend on the actual boundary conditions for the site).

The validity of equation (15) has been tested by comparing with results of Monte Carlo simulations. Specifically, Figure 20 shows the influence of slope length on reliability versus factor of safety, for the case of  $\xi=6$ . The computed results have been produced by analysing seven slope lengths using 3D finite elements: that is,  $L=25, 50, 75, 100, 120, 150$  and  $200$  m. For each value of L, the analysis has been based on 500 realisations, except for  $L=50$  m which used 2000 realisations. This was to obtain as accurate an estimate as possible for  $L=50$  m, due to this result being used to predict (using equation (12)) the R-F responses for other slope lengths.

Figure 20 shows a tendency for the computed result to lie below the probabilistic prediction (i.e. the estimated result), due to the computed result accounting for interaction between different parts of the slope (not accounted for in the probabilistic approach used to derive equation (15)). Nevertheless, there is generally good agreement between the two solutions for all values of L, especially for the two ends of the range. The largest differences are for intermediate values of L ( $\sim 70-120$  m), suggesting that this is the range over which the interaction between failure mechanisms is more likely. That is, for lower values of L, the "close" proximity of the boundaries makes multiple (and therefore interacting) mechanisms less likely, whereas, for much larger values of L, although multiple failures are more likely, there is also less influence from the end boundaries and, therefore, possibly a reduced tendency for mechanism interaction. It is, however, interesting to note the good agreement in results for high ( $R > 90\%$ ) and low ( $R < 10\%$ ) levels of reliability for all values of L. As mentioned previously, Hicks *et al.* (2008) investigated the range of volumes associated with potential slides for Mode 2 failure and found that, for high values of R, slide volumes were generally smaller. This implies that multiple failures are less likely for low probabilities of failure, so that the condition of statistical independency is more closely approximated.

Note that, as the results in Figure 10 were produced using  $\theta_h \approx H$ , it seemed possible that the modified equation (15) might be due to scale of fluctuation, rather than slope height. Hence, a further limited set of tests was conducted for  $\theta_h = 12$  m (i.e.  $\xi = 12$ ) (Spencer, 2007); the results for these tests further supported the use of the factor "2H" in equation (15).

## 7. Conclusions

It has been shown in two-dimensions (2D) that conventional analysis based on mean strengths is inappropriate, due to the tendency for failure to be attracted to weaker zones in heterogeneous soils (Griffiths & Fenton, 2000; 2004; Hicks & Samy, 2002a, b, c; 2004; Paice & Griffiths, 1997). The issue then becomes one of choosing an appropriate single "representative" value that accounts for both material variability and the problem in hand, and that satisfies some design requirement in the probabilistic sense. For example, Eurocode 7 (CEN, 2004) suggests a level of reliability of 95% in defining (un-factored) characteristic property values. Hicks & Samy (2002c) demonstrated that stochastic analysis may be used to derived reliability-based characteristic values consistent with the requirements of EC7.

Hicks & Spencer (2010) extended earlier 2D research by analysing a long slope in three-dimensions (3D). They showed that, even though the chosen slope geometry, loading conditions and mean strength profile are two-dimensional, the presence of 3D material heterogeneity means that the slope is not truly 2D. Indeed, it may be argued that no slope is truly two-dimensional: the presence of heterogeneity means that most slope failures are 3D and this can have a significant influence on the computed response and predicted reliability.

In particular, Hicks & Spencer (2010) identified three failure modes for long slopes such as dikes, these being influenced by the magnitude of the horizontal scale of fluctuation relative to the slope height and length. For the problem analysed and  $\theta_h < H$  (Mode 1), the solution is similar to that obtained with a conventional 2D analysis based on the mean undrained shear strength, whereas, for  $\theta_h > L/2$  (Mode 3), the solution approaches that for a 2D stochastic analysis. Modes 1 and 3 are both characterised by longitudinal (2D) failures and a reliability response that is independent of the slope length.

In contrast, for the more likely intermediate case, in which  $H < \theta_h < L/2$  (Mode 2), discrete 3D failures are computed and reliability is a function of slope length. These results highlight the importance of 3D modelling for realistic reliability analysis, even for problems which appear to be two-dimensional. In particular, they demonstrate that the 2D solution is not always the conservative solution. Thus, the findings have significant implications for computer resource requirements, although Hicks & Spencer (2010) demonstrated how the results of 3D finite element analysis may be linked with simple probability theory to give accurate predictions of performance for larger problems at reasonable cost. For the example presented in their paper, a "representative" slope length of ten times the slope height was sufficient to give accurate predictions of performance for much longer slopes, based on the assumption of stationarity in the statistics of undrained shear strength.

### 7.1 Research recommendations

Recommended topics include the following:

- It is now common practice to use so-called "approximate" probabilistic methods, such as FORM, in quantifying the effects of parameter uncertainty on the performance of geotechnical structures such as dikes. Such methods are convenient and efficient, and

they provide an objective assessment of the relative importance of parameters used in design. However, a major drawback is that they either account for the spatial nature of soil variability in a very simplistic manner, or, not at all, thereby rendering reliability assessments quantitative at best. Recent research, linking finite element analysis with random field theory (RFEM), has enabled the influence of heterogeneity on geo-structural performance to be quantified within a consistent reliability-based framework. It has also demonstrated that heterogeneity can have a significant impact on how soils and geotechnical structures behave.

This poses the following questions: (a) when do simpler approximate methods give good results and when are they significantly in error; (b) for those situations in which they are seriously in error, are there ways in which their performance may be improved? These questions may be addressed through research that involves analysing a series of well-defined geotechnical problems for practical ranges of soil property point and spatial statistics, and comparing the performance of "approximate" methods and a more rigorous approach such as the Random Finite Element Method.

- Current Dutch practice bases dike reliability assessments on so-called 2.5D models (Calle, 1985). These are based on linking 2D limit equilibrium (slip circle) analyses with the First Order Second Moment (FOSM) method to account for parameter uncertainty and variance reduction to account for spatial correlation of property values. Some account of three-dimensionality is possible by defining a scale of fluctuation in the third dimension and by assuming a cylindrical failure mechanism. However, recent research has used 3D RFEM to analyse the stability of dike sections up to 200 m long (Hicks & Spencer, 2010), demonstrating that: (a) failure mechanisms are rarely cylindrical; (b) many types of 3D failure mechanism are possible and this can have a dramatic effect on reliability assessments. Research is needed to investigate, and enhance where applicable, the range of validity of the current system. This should be based on analysing a series of well defined dike sections, and comparing the performance of 2.5D "approximate" and 3D RFEM approaches.
- Heterogeneity can have a significant influence on the behaviour of soils. This is especially true of fibrous materials such as peat, which are likely to exhibit significant scale-dependency. However, whereas the influence of heterogeneity at the metre and larger scales may be reasonably quantified for stability assessments, for example through use of the Random Finite Element Method, the influence of small-scale heterogeneity on the constitutive behaviour of fibrous materials is harder to quantify. From a practical standpoint, there is a need for the development of a continuum constitutive model that may be readily used in numerical analysis. In part, this requires a dedicated laboratory investigation into peaty soils. However, RFEM may also be used to supplement test results; that is, by quantifying the effects of small-scale heterogeneity through suitable well-defined parametric studies.
- Heterogeneity can have a significant influence on the behaviour of geotechnical structures. In particular, Hicks & Spencer (2010) demonstrated the range of possible failure mechanisms for long slopes such as dikes, as well as the influence of the scale of fluctuation on these mechanisms and their probability of occurrence. In the vertical direction, the scale of fluctuation tends to be small relative to slope height, as in the examples presented in this report, and can be easily determined via CPT data. In the horizontal plane the scale of fluctuation is expected to be much larger, although there is far less information available in the literature on this quantity due to the need for high intensity in situ testing. As the horizontal scale of fluctuation has a major influence on

potential failure mechanisms and on the probability of failure, it is recommended to investigate likely ranges of values for this quantity; for example, via the acquisition of closely spaced CPT data.

- RFEM is arguably the most realistic way, currently available, of representing the effects of soil heterogeneity in geotechnical computations. However, while this type of analysis has been shown to increase insight into how soils behave, and some validation of results is possible through comparison with actual material behaviour and analytical solutions at limiting statistical values, validation against actual soil structure performance is more difficult. This is hardly surprising, since all stochastic analyses indicate (albeit realistically) that there are many possible scenarios for geotechnical performance, whereas case histories tend to represent a single event. Validation of RFEM as a reliability-based assessment tool, through comparison with multiple laboratory tests of physical (e.g. centrifuge) models, would be a significant step forward in this respect.

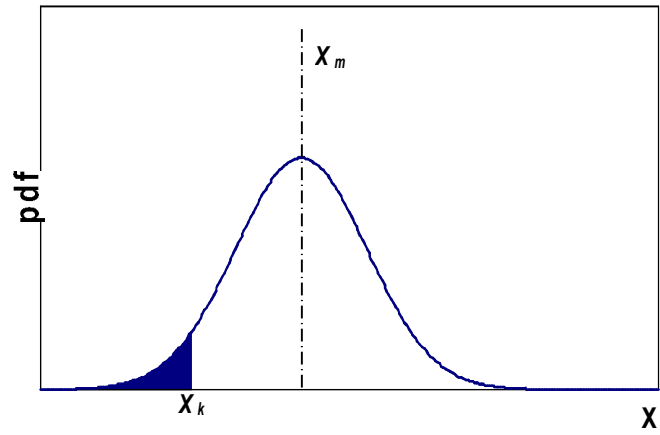
## References

1. CEN (European Committee for Standardisation). Eurocode 7: Geotechnical design. Part 1: General rules. EN 1997-1, CEN; 2004.
2. Calle, EOF. Probabilistic analysis of stability of earth slopes. In: Proceedings of 11<sup>th</sup> Int Conf Soil Mech and Foundation Engineering, San Francisco, vol. 2; 1985. p. 809–812.
3. Duncan JM. Factors of safety and reliability in geotechnical engineering. *J Geotech Eng, ASCE* 2000;126(4):307–316.
4. El-Ramly H, Morgenstern NR, Cruden DM. Probabilistic slope stability analysis for practice. *Canadian Geotech J* 2002;39:665–683.
5. El-Ramly H, Morgenstern NR, Cruden DM. Probabilistic stability analysis of a tailings dyke on pre-sheared clay–shale. *Canadian Geotech J* 2003;40:192–208.
6. El-Ramly H, Morgenstern NR, Cruden DM. Probabilistic assessment of stability of a cut slope in residual soil. *Géotechnique* 2005;55(1):77–84.
7. Fenton GA. Simulation and analysis of random fields. PhD thesis, Princeton University, USA, 1990.
8. Fenton GA, Vanmarcke EH. Simulation of random fields via Local Average Subdivision. *J Eng Mech, ASCE* 1990;116(8):1733–1749.
9. Griffiths DV, Fenton GA. Influence of soil strength spatial variability on the stability of an undrained clay slope by finite elements. In: *Slope Stability 2000, Proceedings of Sessions of Geo-Denver 2000, ASCE, 2000.* p. 184–193.
10. Griffiths DV, Fenton GA. Probabilistic slope stability analysis by finite elements. *J Geotech and Geoenviron Eng, ASCE* 2004;130(5): 507–518.
11. Griffiths DV, Lane PA. Slope stability analysis by finite elements. *Géotechnique* 1999;49(3):387–403.
12. Griffiths DV, Marquez, RM. Three-dimensional slope stability analysis by elasto-plastic finite elements. *Géotechnique* 2007;57:537–546.
13. Harr ME. *Reliability-based design in civil engineering.* McGraw-Hill; 1987.
14. Hicks MA, (editor). *Risk and variability in geotechnical engineering.* Thomas Telford; 2007.
15. Hicks, MA. Stochastic evaluation of characteristic values satisfying Eurocode 7. In: *Recent Advances in Codes of Practice, 2012.*
16. Hicks MA, Boughrarou R. Finite element analysis of the Nerlerk underwater berm failures. *Géotechnique* 1998;48:169–185.
17. Hicks MA, Samy K. Influence of heterogeneity on undrained clay slope stability. *Quarterly J Eng Geology and Hydrogeology* 2002a(1);35:41–49.

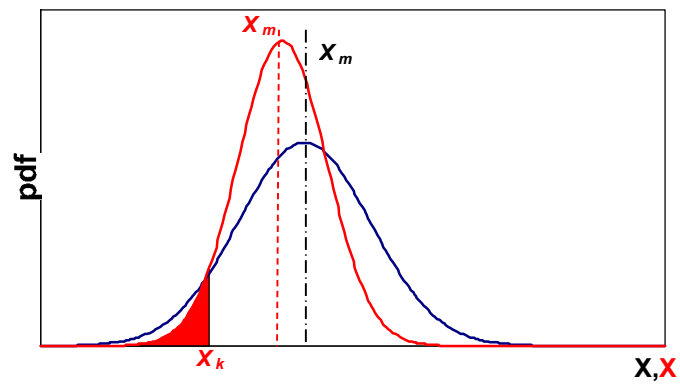
18. Hicks MA, Samy K. Influence of anisotropic spatial variability on slope reliability. In: Proceedings of 8th Int Symp Num Models Geomech, Rome, 2002b. p. 535–539.
19. Hicks MA, Samy K. Reliability-based characteristic values: a stochastic approach to Eurocode 7. *Ground Eng* 2002c;35(12):30–34.
20. Hicks MA, Samy K. Stochastic evaluation of heterogeneous slope stability. *Italian Geotech J* 2004;38:54–66.
21. Hicks MA, Onisiphorou C. Stochastic evaluation of static liquefaction in a predominantly dilative sand fill. *Géotechnique* 2005;55:123–133.
22. Hicks MA, Spencer WA. 3D finite element modelling of slope reliability. In: Proceedings of 8th WCCM and 5th ECCOMAS, Venice, 2008.
23. Hicks MA, Spencer WA. Influence of heterogeneity on the reliability and failure of a long 3D slope. *Computers and Geotechnics* 2010;37:948–955.
24. Hicks MA, Chen J, Spencer WA. Influence of spatial variability on 3D slope failures. In: Proceedings of 6th Int Conf Computer Simulation Risk Analysis and Hazard Mitigation, Kefalonia, 2008. p. 335–342.
25. Hicks MA, Nuttall JD, Spencer WA. Stochastic and finite element modelling of 3D heterogeneity in geo-engineering. In: Proceedings of ECCOMAS Thematic Conf Heterogeneous Materials with Applications in Construction and Biomedical Engineering, Prague, 2007. p. 236–237.
26. Hicks MA, Onisiphorou C, Samy K, Spencer WA. Implications of soil variability for geo-computations. In: Proceedings of 13th Conf of Association for Computational Mechanics in Eng, Sheffield, 2005. p. 29–32.
27. Hunter JH, Schuster RL. Stability of simple cuttings in normally consolidated clays. *Geotechnique* 1968;18:372–378.
28. Mostyn GR, Soo SW. The effect of autocorrelation on the probability of failure of slopes. In: Proceedings of 6th Australia-New Zealand Conf Geomech, New Zealand, 1992. p. 542–546.
29. Nguyun VU, Chowdhury RN. Simulation for risk analysis with correlated variables. *Géotechnique* 1985;35:47–58.
30. Paice GM, Griffiths DV. Reliability of an undrained clay slope formed from spatially random soil. In: Proceedings of 9th Int Conf Computer Methods and Advances Geomech, Wuhan, vol. 1; 1997. p. 543–548.
31. Schweiger HF, Peschl GM. Reliability analysis in geotechnics with the random set finite element method. *Computers and Geotechnics* 2005;32:422–435.
32. Smith IM, Griffiths DV. Programming the finite element method (4<sup>th</sup> ed). John Wiley & Sons; 2004.
33. Spencer WA. Parallel stochastic and finite element modelling of clay slope stability in 3D. PhD thesis, University of Manchester, UK, 2007.
34. Spencer WA, Hicks MA. A 3D finite element study of slope reliability. In: Proceedings of 10th Int Symp Num Models Geomech, Rhodes, 2007. p. 539–543.
35. Tang WH, Yucemen MS, Ang AHS. Probability-based short-term design of slopes. *Canadian Geotech J* 1976;13:201–215.
36. Taylor DW. Stability of earth slopes. *J Boston Society of Civil Engineers* 1937;24:197–246.
37. Vanmarcke EH. Reliability of earth slopes. *J Geotech Eng Div, ASCE* 1977;103(11): 1247–1265.
38. Vanmarcke EH. Random fields: Analysis and synthesis. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts; 1983.
39. Wickremesinghe D, Campanella RG. Scale of fluctuation as a descriptor of soil variability. In: Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering. Balkema; 1993. p. 233–239.

Table 1. Extracts from Section 2.4.5.2 of Eurocode 7 (CEN, 2004; Hicks, 2012)

No.	Paragraph	Author Comments
(1)P	The selection of characteristic values for geotechnical parameters shall be based on results and derived values from laboratory and field tests, complemented by well-established experience.	No change to previous practice.
(2)P	The characteristic value of a geotechnical parameter shall be selected as a cautious estimate of the value affecting the occurrence of the limit state.	Also no change? But what is meant by a "cautious estimate"?
(4)P	<p>The selection of characteristic values for geotechnical parameters shall take account of the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• geological and other background information, such as data from previous projects;</li> <li>• the variability of measured property values and other relevant information, e.g. from existing knowledge;</li> <li>• the extent of the field and laboratory investigation;</li> <li>• the type and number of samples;</li> <li>• the extent of the zone of ground governing the behaviour of the geotechnical structure at the limit state being considered;</li> <li>• the ability of the geotechnical structure to transfer loads from weak to strong zones in the ground.</li> </ul>	<p>Should account for soil variability.</p> <p>Uncertainty.</p> <p>Uncertainty.</p> <p>Spatial correlation of properties is important.</p> <p>Characteristic values are problem-dependent.</p>
(7)	The zone of ground governing the behaviour of a geotechnical structure at a limit state is usually much larger than a test sample or the zone of ground affected in an in situ test. Consequently the value of the governing parameter is often the mean of the range of values covering a large surface or volume of the ground. The characteristic value should be a cautious estimate of this mean value.	Important to consider the mean over potential failure surfaces; this could be very different to the mean over the domain of influence.
(8)	If the behaviour of the geotechnical structure at the limit state considered is governed by the lowest or highest value of the ground property, the characteristic value should be a cautious estimate of the lowest or highest value occurring in the zone governing the behaviour.	Extreme scenario implying local failure.
(11)	<p>If statistical methods are used, the characteristic value should be derived such that the calculated probability of a worse value governing the occurrence of the limit state under consideration is not greater than 5%.</p> <p>NOTE: In this respect, a cautious estimate of the mean value is a selection of the mean value of the limited set of geotechnical parameter values, with a confidence level of 95%; where local failure is concerned, a cautious estimate of the low value is a 5% fractile.</p>	<p>5% refers to probability of failure of the structure; not to parameter values.</p> <p>Percentages refer to parameter values; not to structure performance.</p>

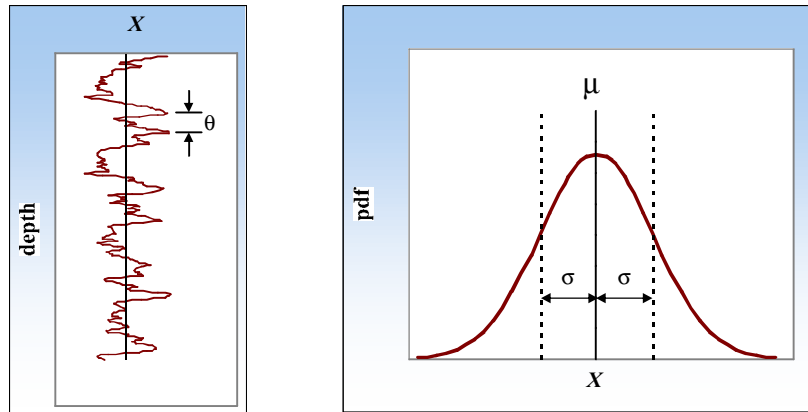


(a) Basic definition of  $X_k$



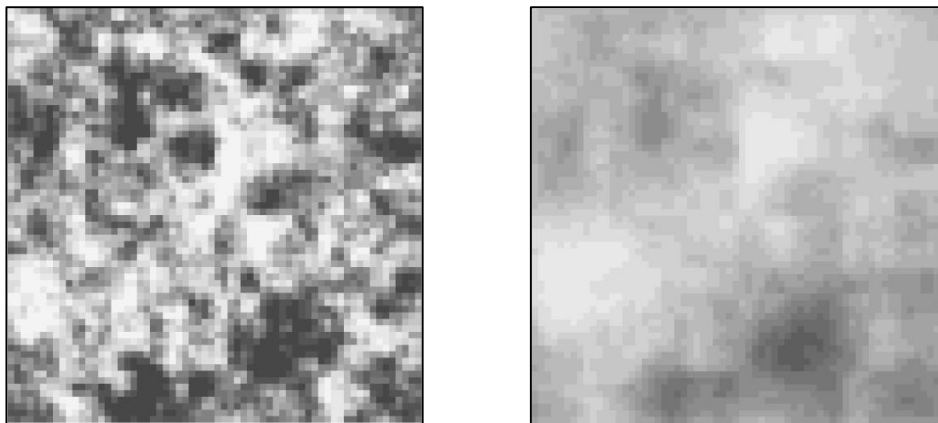
(b) General definition of  $X_k$

Figure 1. Derivation of characteristic property values satisfying Eurocode 7 (Hicks, 2012)



(a) X as function of depth      (b) probability density function of X

Figure 2. Illustrating the statistics of material property X (Hicks & Samy, 2002c)

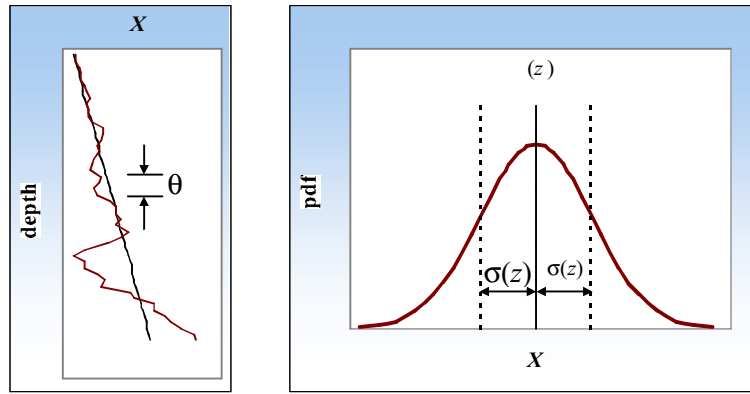


(a)  $\theta/D=0.1$

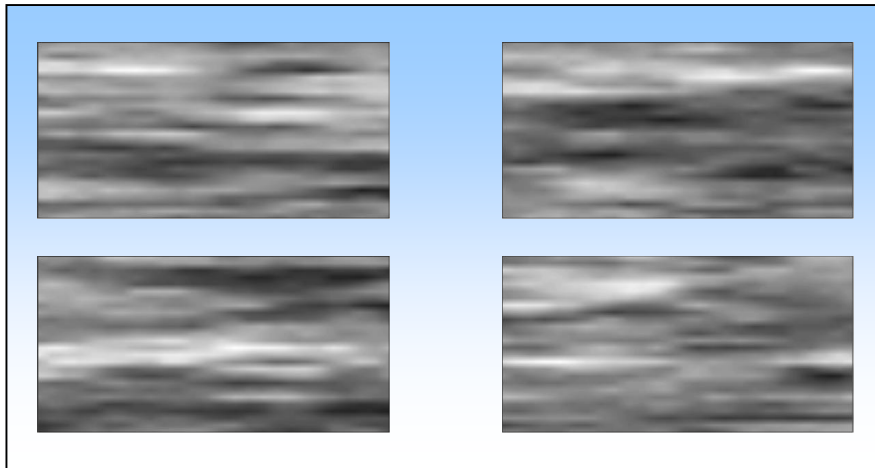
(b)  $\theta/D=1.0$

Figure 3. Two-dimensional random fields of X (Hicks & Samy, 2002c)

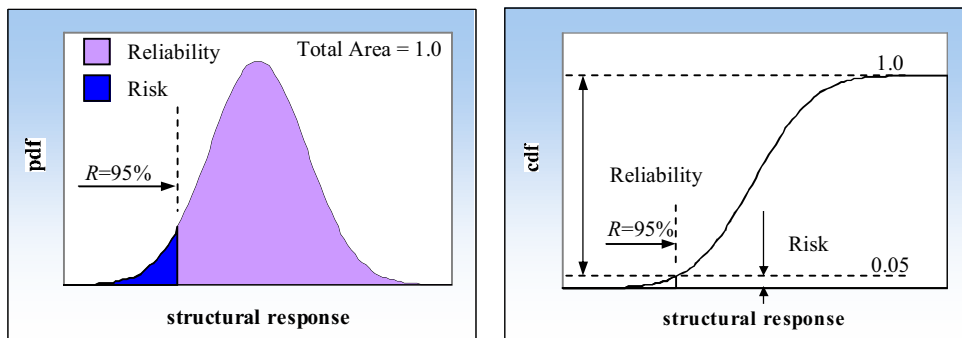




(a) determination of statistics

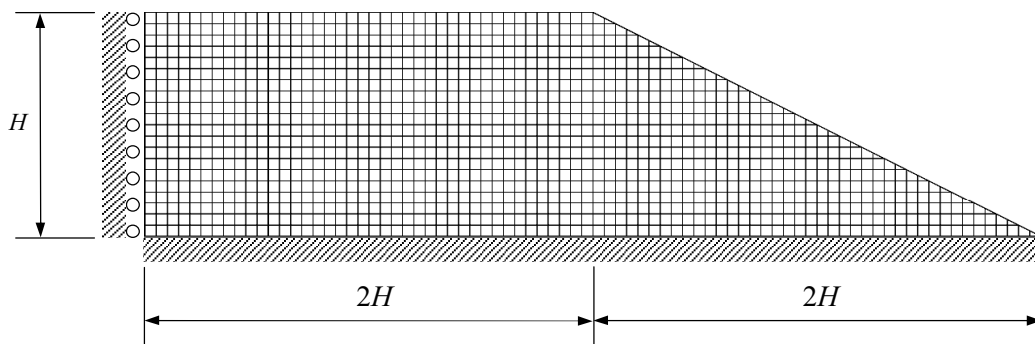


(b) multiple realisations

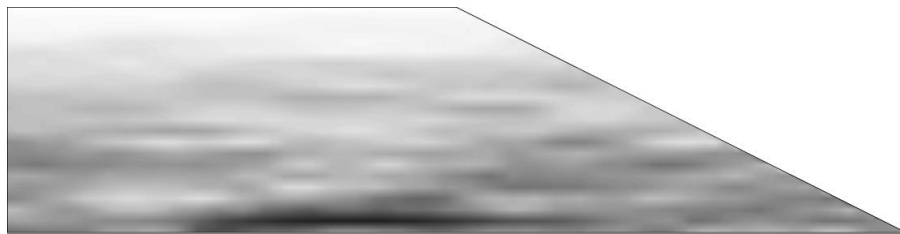


(c) performance distributions

Figure 4. Schematic diagram showing stochastic process (Hicks & Samy 2002c)

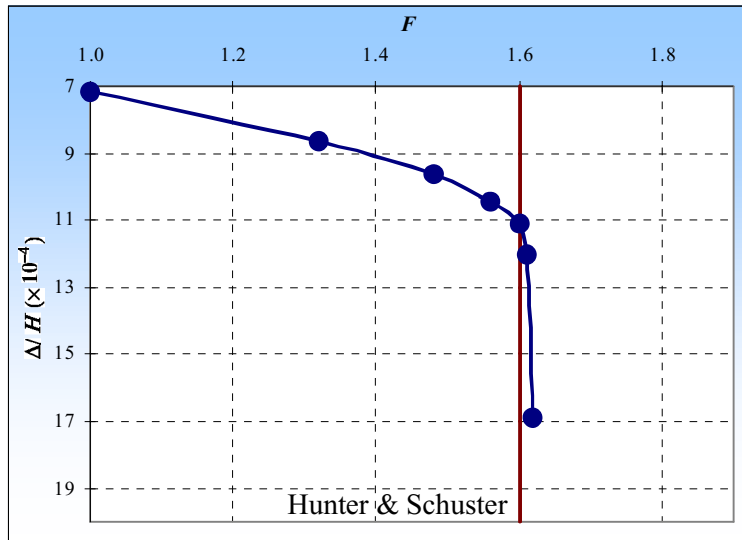


(a) geometry, boundary conditions and finite element mesh

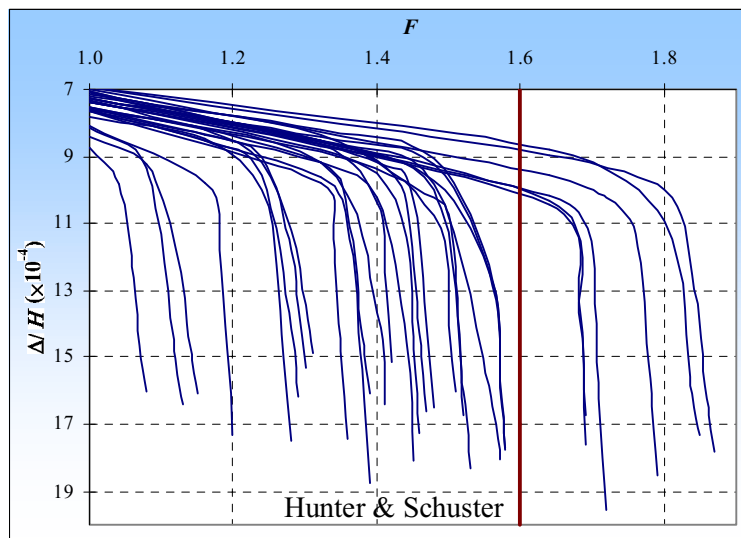


(b) random field of  $c_u$  for  $\xi=12$

Figure 5. Details of slope stability problem (Hicks & Samy, 2002c)

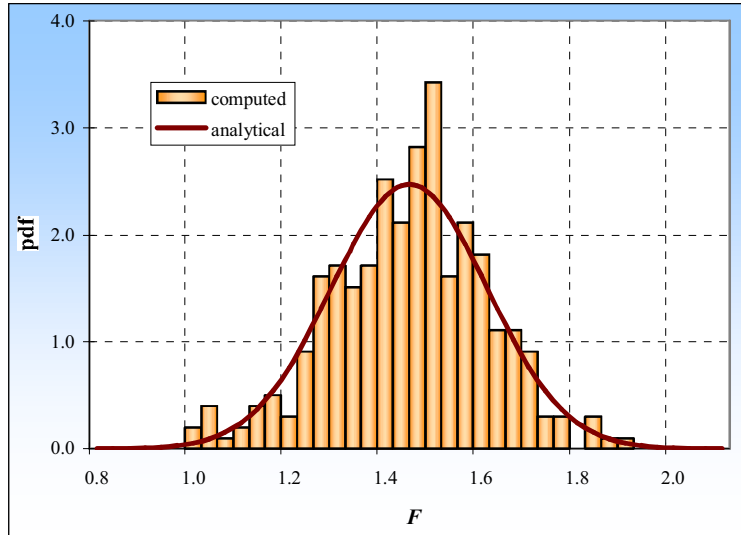


(a) deterministic solution

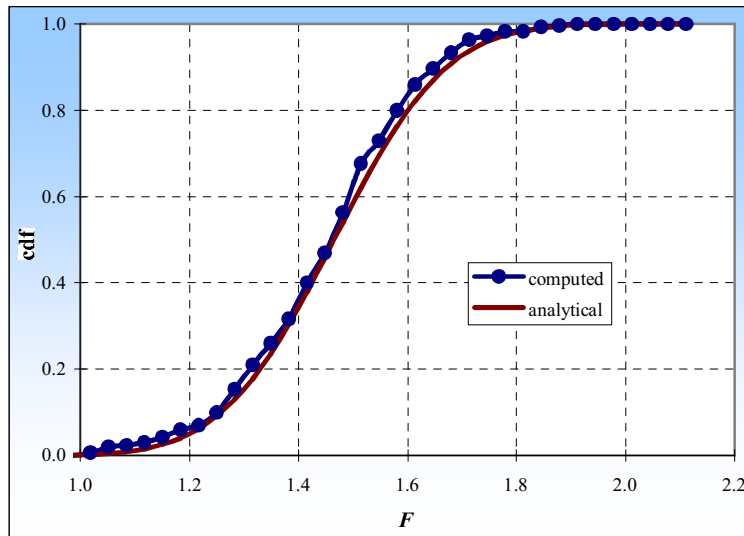


(b) stochastic solution for  $\xi = \infty$

Figure 6. Mobilised factor of safety versus crest settlement (Hicks & Samy, 2002c)

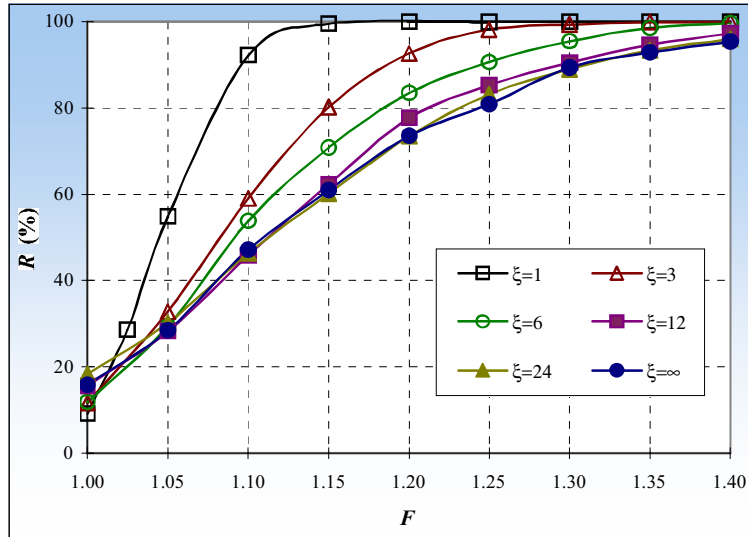


(a) probability density function

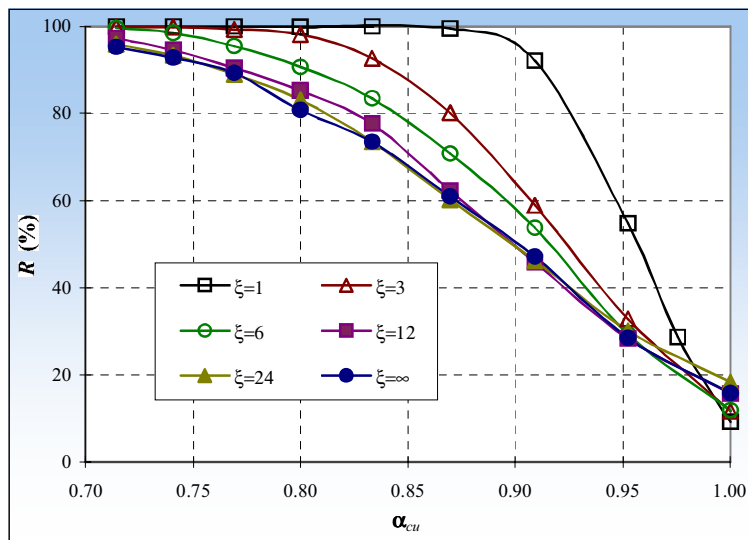


(b) cumulative distribution function

Figure 7. Performance distributions of factor of safety for  $\xi=\infty$  (Hicks & Samy, 2002c)



(a) R versus factor of safety



(b) R versus reduction factor

Figure 8. Reliability for different levels of anisotropy of the heterogeneity (Hicks & Samy, 2002c)

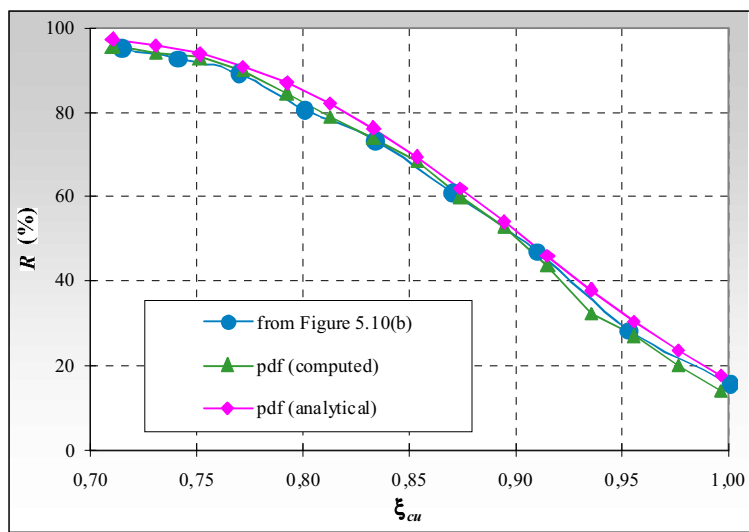
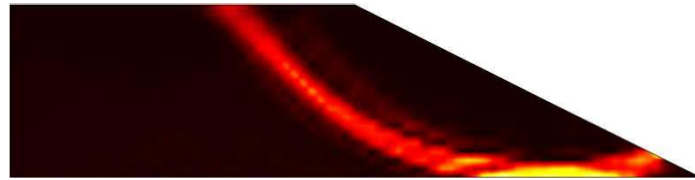
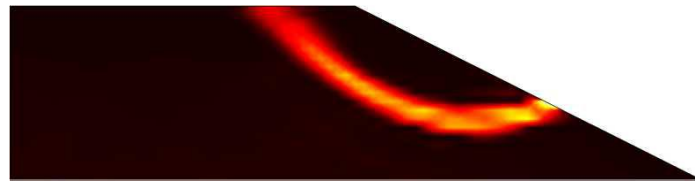


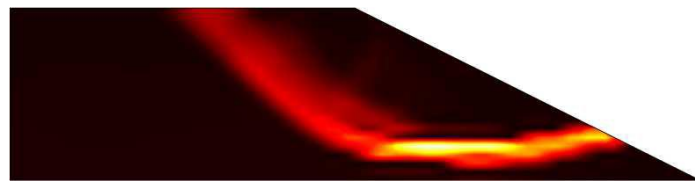
Figure 9. Reliability versus reduction factor for  $\xi=\infty$  (Hicks & Samy, 2002c)



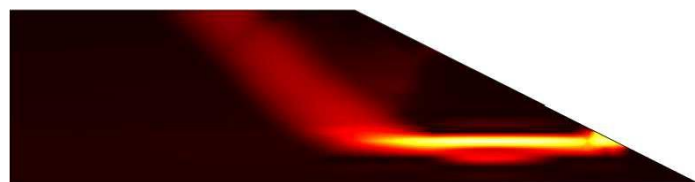
(a)  $\xi=1$



(b)  $\xi=6$

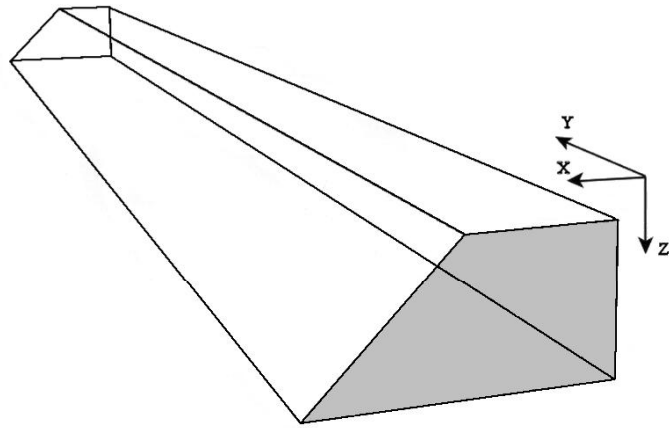


(c)  $\xi=12$

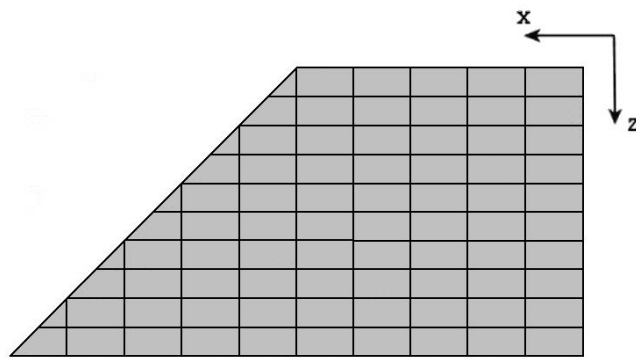


(d)  $\xi=\infty$

Figure 10. Typical contours of shear strain invariant at failure (Hicks & Samy, 2002c)



(a) isometric projection



(b) cross-section through mesh

Figure 11. Slope geometry and finite element mesh details for a long slope (Hicks & Spencer, 2010)



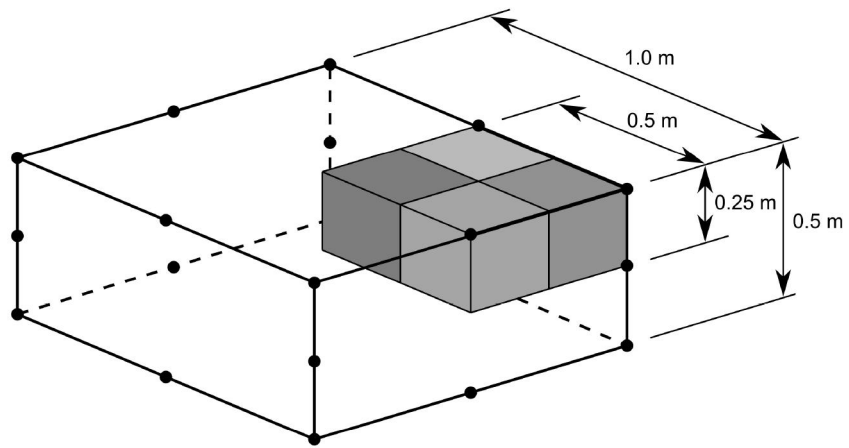


Figure 12. Typical finite element and four random field cells (Hicks & Spencer, 2010)

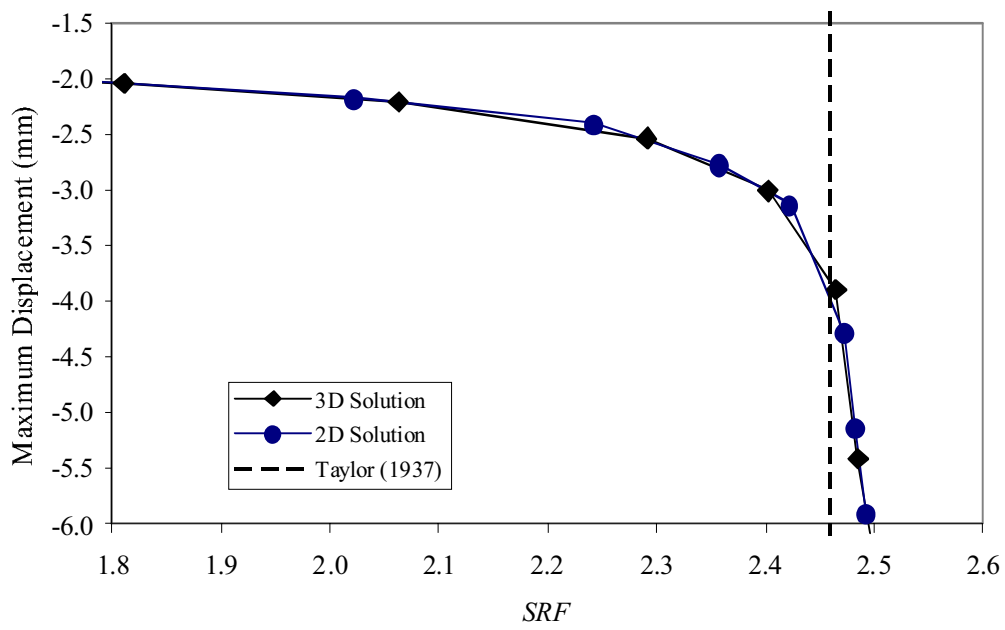


Figure 13. Strength reduction factor versus maximum settlement for 2D and 3D homogeneous slopes (Hicks & Spencer, 2010)

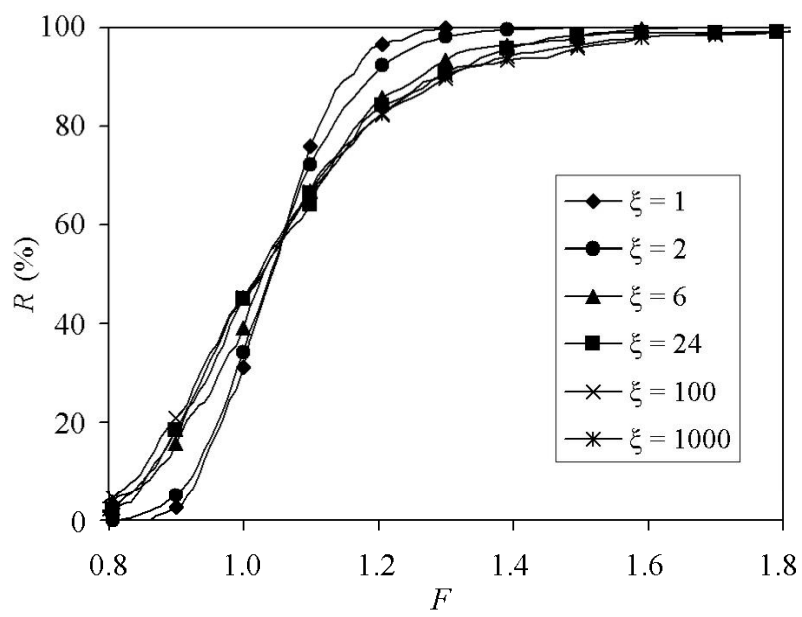


Figure 14. Influence of degree of anisotropy of the heterogeneity on reliability versus global factor of safety (2D analysis) (Hicks & Spencer, 2010)

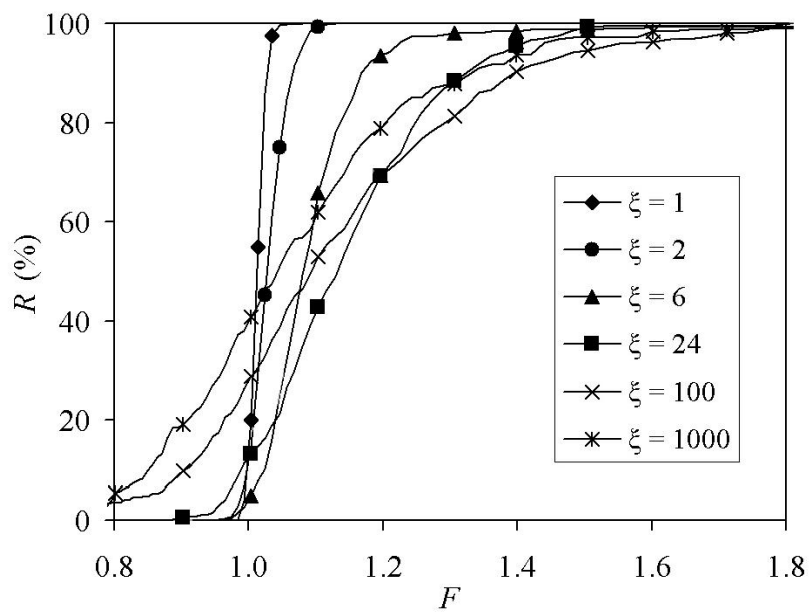
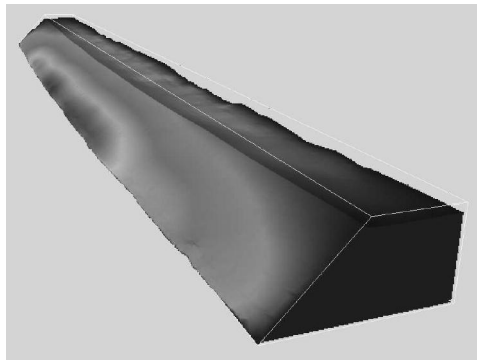
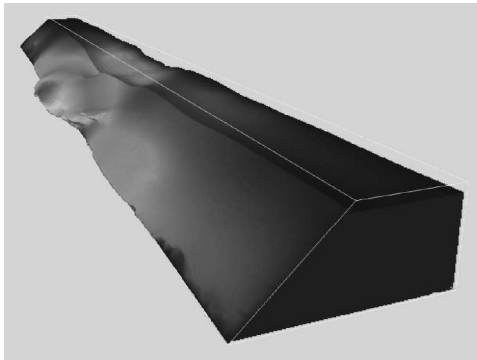


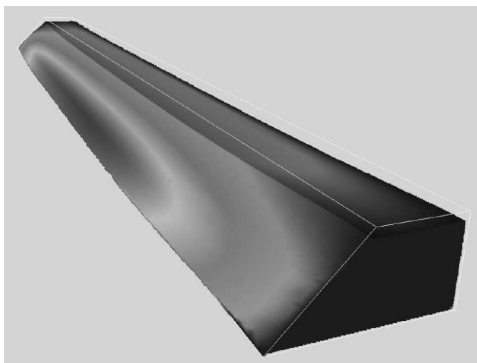
Figure 15. Influence of degree of anisotropy of the heterogeneity on reliability versus global factor of safety (3D analysis) (Hicks & Spencer, 2010)



(a) Mode 1



(b) Mode 2



(c) Mode 3

Figure 16. Deformed meshes and contours of out-face-displacement for typical 3D failure mechanisms (Hicks & Spencer, 2010)

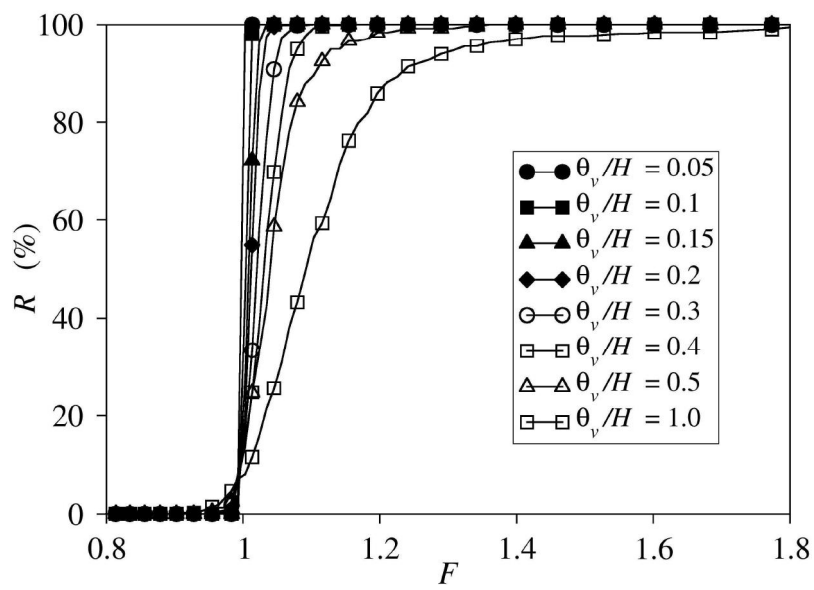


Figure 7: Influence of scale of fluctuation on reliability versus global factor of safety for isotropic heterogeneity (3D analysis) (Hicks & Spencer, 2010)

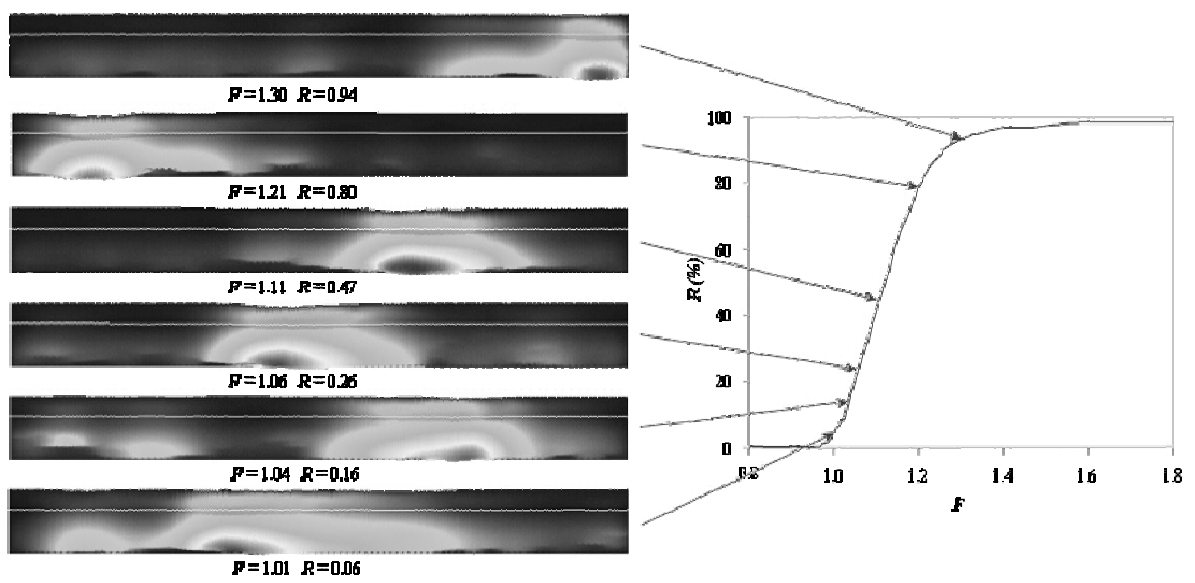


Figure 18. Reliability versus global factor of safety and example failure mechanisms (in plan view) for  $\xi=6$  (Hicks & Spencer, 2010)

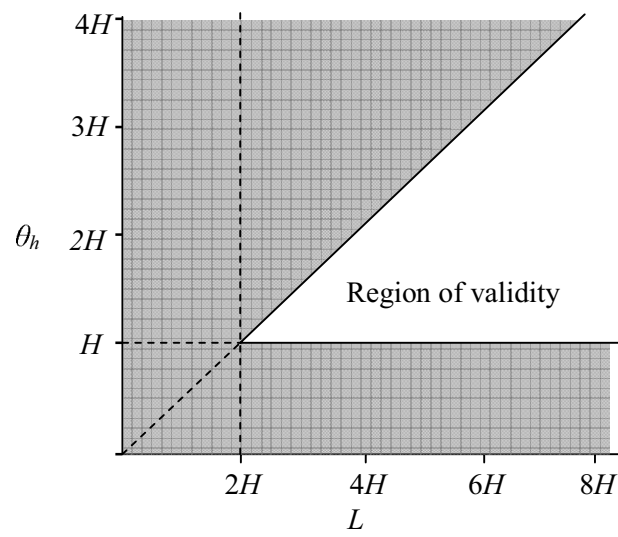


Figure 19. Range over which equation (15) is expected to be valid (Hicks & Spencer, 2010)



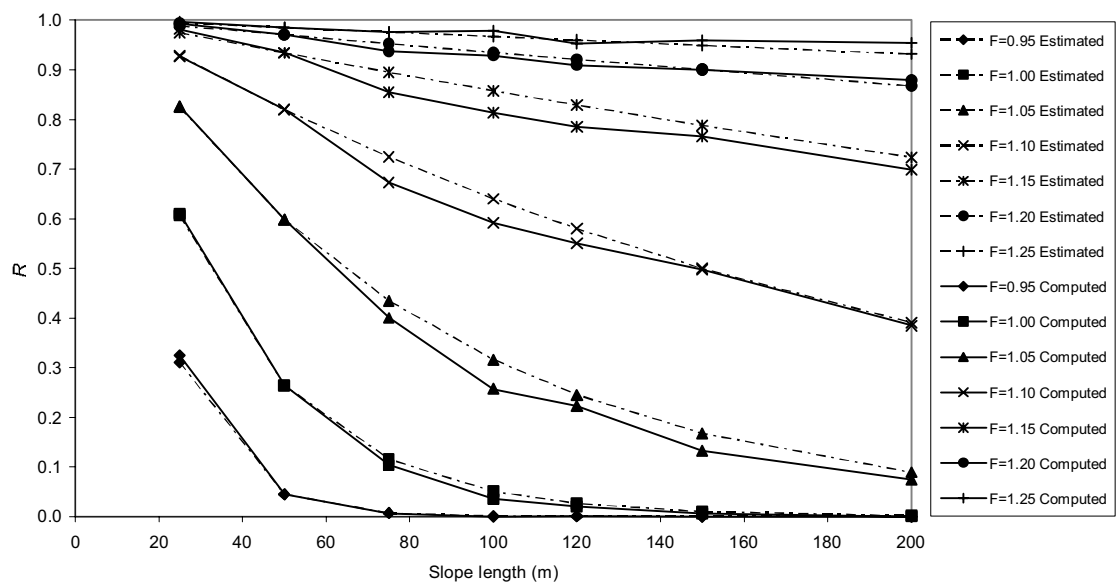


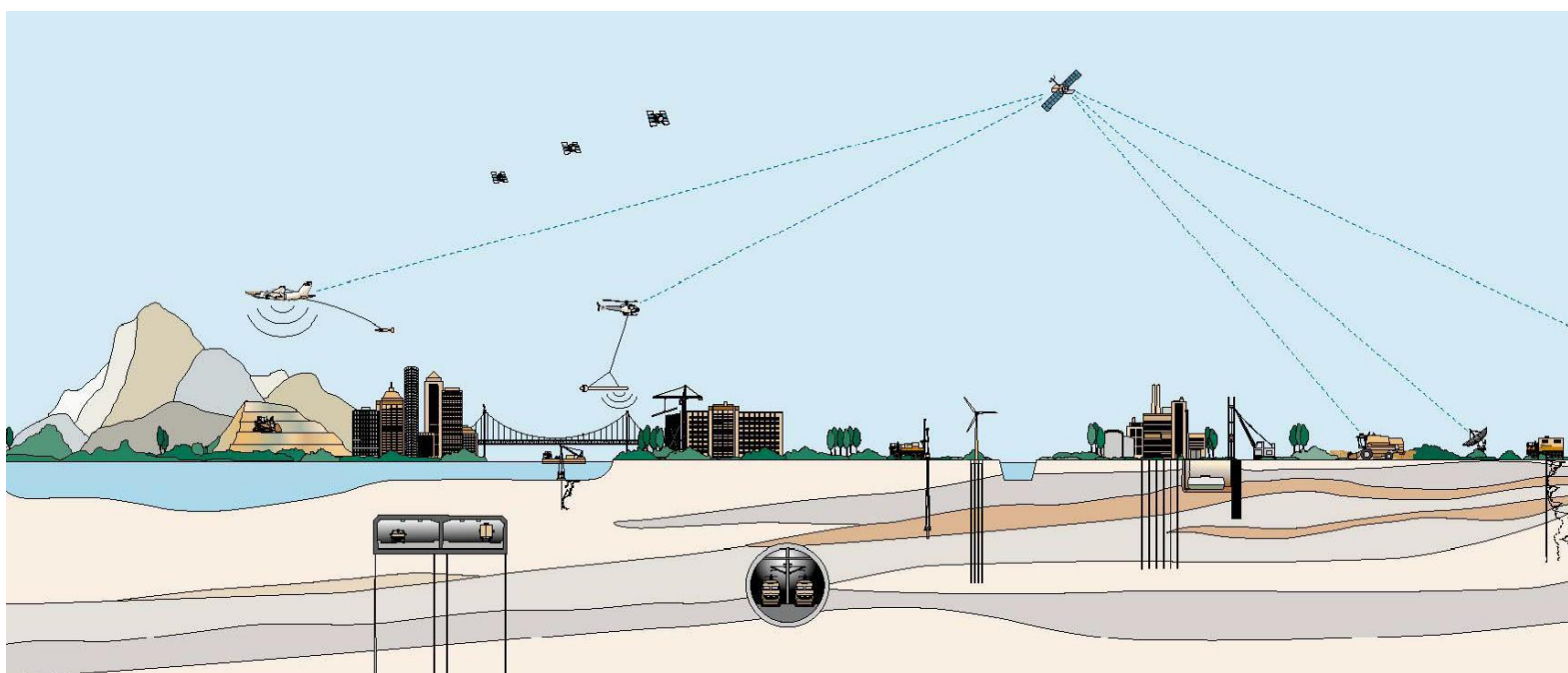
Figure 20. Influence of slope length on reliability versus global factor of safety (Hicks & Spencer, 2010)

## **E Gegevensverzameling Fugro**

RAPPORT  
betreffende

**GEGEVENSVERZAMELING EN  
BEREKENINGEN  
T.B.V. DOORVERTALING  
PRAKTIJKPROEF "DIJKEN OP VEEN"**

Oprichtnummer: 1211-0096-000



RAPPORT  
betreffende

**GEGEVENSVERZAMELING EN  
BEREKENINGEN  
T.B.V. DOORVERTALING  
PRAKTIJKPROEF "DIJKEN OP VEEN"**

Oprichtnummer: 1211-0096-000

Opdrachtgever : Deltares  
Postbus 177  
2600 MH DELFT

Projectleider : ir. W.R. Halter

Mede opgesteld door : Ing. R. Janssens  
Adviseur Waterbouw

B.H.W.J. van Luit  
Projectassistent

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	30 maart 2012	eerste versie	
2			
3			

FILE: 1211-0096-000.R01. Op deze rapportage zijn de algemene leveringsvoorwaarden van de V.O.T.B. van toepassing die een aansprakelijkheidsbeperking bevatten.

## INHOUDSOPGAVE

Blz.

1. INLEIDING	1
2. SITUATIESCHRIJVING	2
2.1. Locatiebeschrijving	2
2.2. Geleverde informatie	2
3. STABILITEITSANALYSE	4
3.1. Berekeningsmethode	4
3.2. Stabiliteitsberekeningen	4

## BIJLAGEN

Nr.

### Advies

- Resultaten stabiliteitsberekeningen 1211-0096-000-1 t/m 1211-0096-000-8

### CD-ROM

- Situatietekeningen
  - Sonderingen en boringen
  - Ontwerpuitgangspuntenrapport
  - Geohydrologische achtergrondrapporten
  - Resultaten laboratoriumonderzoek
  - Proevenverzamelingen
  - DGeoStability-bestanden
  - Resultaten DGeoStability
-

## 1. INLEIDING

Op 17 februari 2012 ontving Fugro GeoServices B.V. te Nieuwegein van Deltares te Delft de opdracht voor gegevensverzameling en het uitvoeren van berekeningen aan de Markermeerdijk Hoorn - Edam - Amsterdam ten behoeve van de doorvertaling van de resultaten uit de praktijkproef "Dijken op Veen".

Deltares voert bij Uitdam een praktijkproef uit waarbij de sterkte van veen door middel van in-situ bezwijkproeven in kaart wordt gebracht. De resultaten van deze bezwijkproeven kunnen leiden tot gewijzigde inzichten omtrent de binnenwaartse macrostabiliteit van de Markermeerdijk tussen Amsterdam en Hoorn. Om hier een onderbouwde uitspraak over te doen, dienen de resultaten van de proef te worden doorvertaald naar enkele dwarsprofielen langs de Markermeerdijk.

Dit onderzoek heeft als doel om uitspraak te doen over mogelijke gewijzigde inzichten omtrent de binnenwaartse macrostabiliteit van de Markermeerdijk tussen Amsterdam en Hoorn. Door middel van verschillende sonderingen en boringen zijn vier dwarsprofielen opgezet en daarmee zijn stabiliteitsberekeningen gemaakt met DGeoStability. Vervolgens zijn drie situaties uitgerekend, de dagelijkse situatie, maatgevend hoog water en extreme neerslag. De maatgevende stabiliteitsberekening is doorgerekend met representatieve waarden en met gemiddelde waarden. De rekenwaarden, representatieve waarden en gemiddelde waarden zijn in een proevenverzameling opgenomen. Tevens is er een variatie-analyse voor de schuifsterkte van veen opgesteld. Hiervoor zijn, naast de in de proevenverzameling gehanteerde waarden, optimistischere waarden gebruikt voor de sterkte van veen.

Doel van onderhavige rapportage is een geotechnische onderbouwing te leveren om nieuwe inzichten te creëren omtrent de binnenwaartse macrostabiliteit van de Markermeerdijk.

Ten eerste zijn de locaties van de vier dwarsprofielen beschreven. Ten tweede is beschreven welke bijlagen op de meegeleverde CD-ROM staan. Ten derde zijn de stabiliteitsanalyses beschreven met de bijbehorende resultaten. Ten slotte zijn er in de bijlagen een aantal resultaten van DGeoStability opgenomen.

## 2. SITUATIEBESCHRIJVING

### 2.1. Locatiebeschrijving

Onderstaand is beschreven waar de vier locaties zich bevinden waarvoor stabiliteitsberekeningen zijn gemaakt. Deze locaties zijn door Deltares in overleg met Fugro en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier bepaald. Op deze locaties wordt door Fugro aanvullend grondonderzoek uitgevoerd. Dit wordt separaat gerapporteerd.

#### **Markermeerdijk Hoorn - Edam:**

*Dijk 20 Grote waal, Hoorn  
Dwarsprofiel 34*

*Dijk 23 Zandbraak  
Dwarsprofiel 64*

#### **Markermeerdijk Amsterdam – Edam**

*Dijk 28 De Nes  
Dwarsprofiel 63*

*Dijk 28 Kinselmeer  
Dwarsprofiel 134*

### 2.2. Geleverde informatie

De als bijlage bij dit rapport opgenomen CD-ROM bevat de volgende mappen:

- situatietekeningen;
- sonderingen en boringen;
- ontwerpuitgangspuntenrapport;
- geohydrologische achtergrondrapporten;
- resultaten laboratoriumonderzoek;
- DGeoStability;
- resultaten DGeoStability.

In de map "Situatietekeningen" staan de situatietekeningen van het grondonderzoek tot eind 2010 op de vier locaties, dat door Fugro is uitgevoerd in het kader van de dijkversterking en enkele naburige projecten.

In de map "Sonderingen en boringen" staan GEF-bestanden en PDF-bestanden van het door Fugro reeds uitgevoerde sonderingen en boringen van de vier dwarsprofielen, voor zover deze beschikbaar zijn in deze formaten

De map "Ontwerpuitgangspuntenrapport" bevat de laatste versie van het rapport met de ontwerpuitgangspunten voor de dijkversterking.

In de map "Geohydrologische achtergrondrapporten" staan twee rapporten: een geohydrologisch achtergrondrapport voor de dijk Edam - Amsterdam en een geohydrologisch achtergrondrapport voor de dijk Hoorn - Edam.

In de map “Resultaten laboratoriumonderzoek” staan de resultaten van de triaxiaalproeven uit het aanvullend grondonderzoek voor de dijk Edam - Amsterdam en voor de dijk Hoorn - Edam. Deze hebben als basis gediend voor de proevenverzameling. Tevens staat hierin het Excel-bestand met de proevenverzamelingen voor rekenwaarden, representatieve waarden en gemiddelde waarden.

In de map “DGeoStability” zijn alle bestanden opgenomen met betrekking tot de berekeningen, voor alle beschreven situaties en variaties. Inclusief in- en uitvoer bestanden.

In de map “Resultaten DGeoStability” zijn de PDF-bestanden opgenomen die de resultaten en invoer weergeven van de maatgevende situaties. Het betreft acht bestanden voor de situatie waarin met rekenwaarden is gerekend. Het betreft dezelfde figuren, die als bijlage in dit rapport zijn opgenomen.



### 3. STABILITEITSANALYSE

#### 3.1. Berekeningsmethode

De stabiliteit van het ontwerp in relatie tot de waterkering is geanalyseerd door het uitvoeren van glijvlakberekeningen volgens de vereenvoudigde methode Bishop met het computerprogramma DGeoStability (versie 9.10, build 7.9). Hierbij wordt de veiligheidsfactor van een grondmoot langs een cirkelvormig glijvlak berekend. Voor maatgevende situaties zijn controles uitgevoerd met de methode Uplift Van. In deze methode bestaat het glijvlak uit twee cirkelvormige glijvlakken met mogelijk een horizontaal tussendeel.

#### 3.2. Grondparameters

De in het ontwerp gehanteerde proevenverzamelingen zijn in Excel en in de DGeoStability-modelschematisaties geleverd. Per onderscheiden grondlaag zijn de volgende parameters vermeld:

- volumiek gewicht (droog en nat);
- sigma-tau-curves (zowel in Excel als in modelschematisaties);
- hoek van inwendige wrijving per spanningstraject (alleen in Excel);
- effectieve cohesie voor het eerste spanningstraject (alleen in Excel).

Van de schuifsterkteparameters zijn zowel rekenwaarden, representatieve waarden als verwachtingswaarden vermeld.

De volgende onderverdelingen zijn gehanteerd:

- Er zijn vier deeltrajecten onderscheiden met verschillende grondparameters. De sterkte van de grond neemt globaal in zuidelijk richting iets af. Daarnaast zijn er een paar materialen die voor alle deeltrajecten dezelfde parameters hebben.
- Onderscheid is gemaakt naar de ligging ten opzichte van de dijk. In het algemeen hebben grondlagen onder de dijk een hogere sterkte dan naast de dijk.
- Onderscheid is gemaakt tussen antropogene (door mensen aangebrachte) grond en natuurlijk afgezette grond.

De parameters van zand, stortsteen, ophoogklei en veen zijn deels gebaseerd op tabel 1 uit NEN 6740. Gemiddelde waarden van de schuifsterktes zijn teruggerekend vanuit representatieve waarden door uit te gaan van een verzameling van 10 proeven en de variatiecoëfficiënten uit tabel 1 van NEN 6740.

Bij sommige grondsoorten is de waarde uit het laboratoriumonderzoek niet gebruikt, maar is een schatting gemaakt op basis van tabel 1 uit NEN 6740. De waarden uit het laboratoriumonderzoek zijn dan tussen haakjes vermeld. Dit geldt voor de volumieke gewichten van sommige veen- en zandsoorten en voor de schuifsterkte van sommige veensoorten.

#### 3.3. Stabiliteitsberekeningen

Voor dit project zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd voor:

- dijk 20 dwarsprofiel 34;
- dijk 23 dwarsprofiel 64;
- dijk 28 dwarsprofiel 63;
- dijk 28 dwarsprofiel 134.

Deze dwarsprofielen zijn niet eerder in DGeoStability beschouwd voor de toetsing of het ontwerp van de Markermeerdijk, omdat ze naar verwachting niet maatgevend zijn voor het dijkvak waarin ze zich bevinden. Voor het doorvertalen van de praktijkproefresultaten zijn ze echter geschikt.

De laagopbouw en de geometrie van de huidige situatie zijn op basis van de beschikbare informatie zo exact mogelijk geschematiseerd. Versterkingsontwerpen zijn niet beschouwd.

De stabiliteitsberekeningen zijn met rekenwaarden voor de grondparameters uitgevoerd voor de gemiddelde (dagelijkse) omstandigheden, voor extreme neerslag (toetssituatie) en voor maatgevend hoog water (toetssituatie). Maatgevende situaties zijn ook met de methode Uplift Van doorgerekend, onafhankelijk van de vraag of er wel of geen sprake is van een oprijfsituatie.

Er kunnen grote verschillen aanwezig zijn met de stabiliteitsfactoren voor dezelfde dijkvakken uit de toetsrapportages, omdat niet exact dezelfde dwarsprofielen zijn beschouwd. Bovendien zijn er sinds de toetsing nieuwe inzichten verkregen uit aanvullend terrein- en grondonderzoek en zijn er rekenuitgangspunten gewijzigd.

De situaties die maatgevend zijn, zijn zowel doorgerekend met representatieve waarden van de grondparameters als met gemiddelde waarden van de grondparameters.

Tenslotte is er ook een variatieanalyse uitgevoerd voor de schuifsterkte van veen. Dit is uitgevoerd per dwarsprofiel voor de maatgevende situatie bij de rekenwaarden voor de grondparameters. Hierbij zijn naast de sterkteparameters voor veen nog twee scenario's voor de veensterkte (gematigd optimistisch en zeer optimistisch) doorgerekend. Deze scenario's zijn door Fugro vastgesteld (zie tabel 3-1).

Tabel 3-1: Parameters veen in variatieanalyse (rekenwaarden)

Scenario	Hoek van inwendige wrijving [graden]	Effectieve cohesie [kPa]
veen laag (conform proevenverzameling)	11,5 à 18,4	0,7 à 2,4
veen gematigd optimistisch	16,9	2,0
veen zeer optimistisch	21,2	4,0

Bij de keuze van de “zeer optimistische” parameters zijn de volgende fictieve, positieve uitgangspunten gehanteerd:

- De gemiddelde waarde van de schuifsterkte komt globaal overeen met relatief sterke veensoorten uit de proevenverzameling. Uitgegaan is van een hoek van inwendige wrijving van 25° en een effectieve cohesie van 6 kPa (bij 2% rekgrens in de triaxiaalproeven).
- Er zijn zeer veel metingen uitgevoerd en de spreiding in sterkte is verwaarloosbaar klein. In dat geval zijn de representatieve waarden van de schuifsterkteparameters gelijk aan de gemiddelde waarden.

De variatieanalyse geeft inzicht in de mogelijke effecten van een opwaardering van de schuifsterkte van veen op de binnenwaartse macrostabiliteit van de waterkering. Het volumiek gewicht is niet gevarieerd, omdat dit reeds zeer nauwkeurig is bepaald en omdat de inzichten hierover door de praktijkproef niet significant zullen wijzigen. Met uitzondering van DP 28-134 levert het opwaarderen van de veenparameters een dieper glijvlak op, dat meer door de onderliggende plastische kleilaag loopt. Hoewel een significant hogere

stabiliteitsfactor wordt verkregen, wordt nog steeds ruimschoots niet voldaan aan de vereiste stabiliteit.

De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in tabel 3-2.

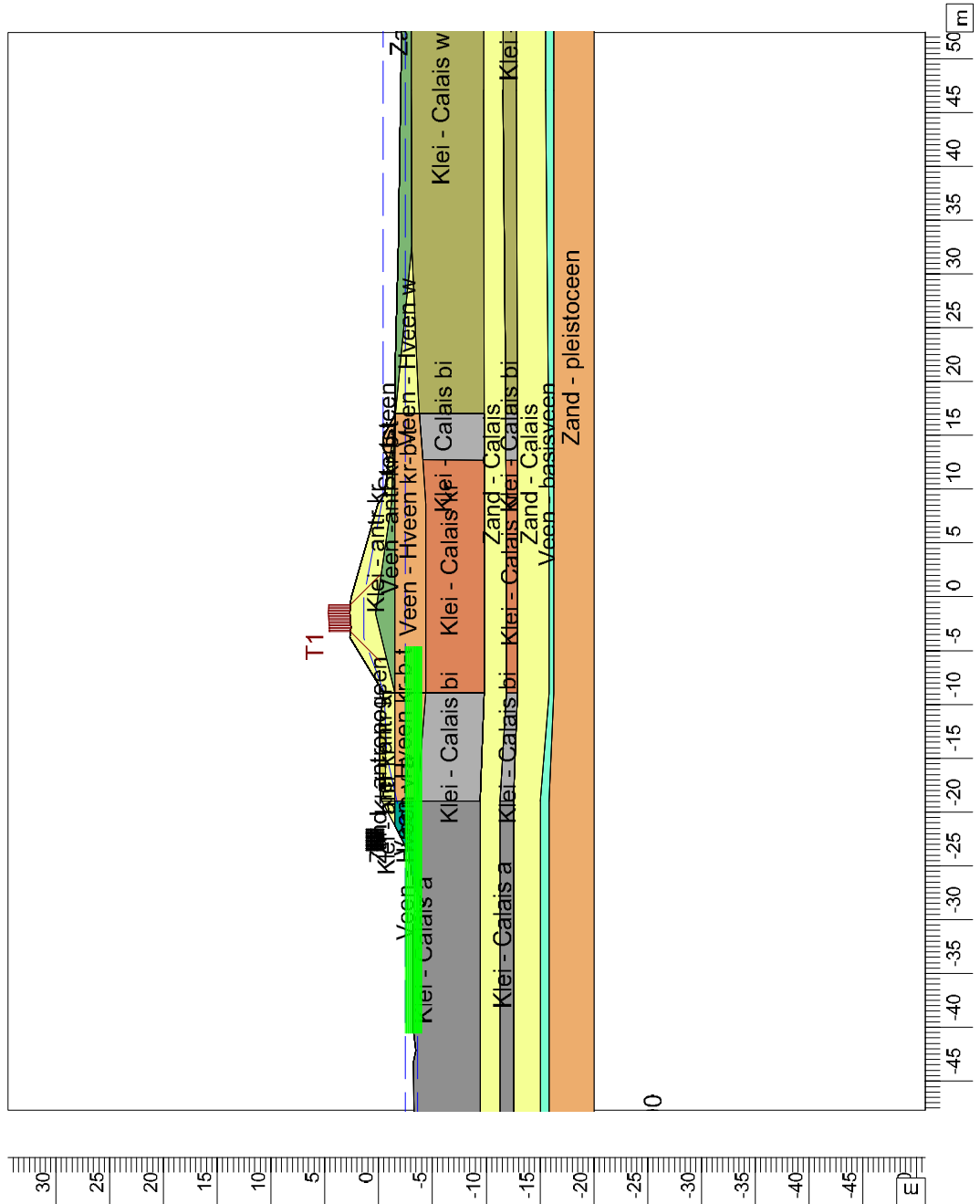
Tabel 3-2: Samenvatting berekeningsresultaten met verschillende grondparameters en waterspanningen

Overzicht DGeoStability berekeningen (binnenwaartse macrostabiliteit)				
Dijkprofiel	20-34	23-64	28-63	28-134
Rekenwaarden (vetgedrukte waarde is maatgevend)				
Dagelijkse situatie	0,69 (1,19)	0,66	0,66 (0,88)	0,65
EN Bishop	<b>0,54</b> (0,92)	0,61	0,61 (0,83)	0,60
EN Uplift Van	1,43	n.b.	n.b.	n.b.
MHW Bishop	0,69 (1,09)	<b>0,51</b> (0,56)	<b>0,58</b> (0,78)	0,55
MHW Uplift Van	1,15	0,54	0,62	<b>0,53</b>
Maatgevende PL-lines				
rekenwaarden	0,54	0,51	0,58	0,53*
representatieve waarden	0,71	0,63	0,77	0,67*
gemiddelde waarden	1,11	0,90	1,06	0,92*
Rekenwaarden + maatgevende PL-lines				
veen zeer optimistisch	0,93	0,64	0,93	0,63*
veen gematigd optimistisch	0,84	0,59	0,73	0,63*
veen laag (rekenwaarde)	0,54	0,51	0,58	0,53*
EN = extreme neerslag MHW = maatgevend hoog water n.b. = niet beschouwd				
*Methode Uplift Van is maatgevend. Er is geen modelfactor van 1,05 gehanteerd, omdat de glijvlakken geen horizontaal gedeelte bevatten en nagenoeg cirkelvormig zijn.				

Afhankelijk van de situatie is een grote glijcirkel door de kruin van de dijk of een kleine glijcirkel door de berm maatgevend. Voor sommige gevallen is de kleine glijcirkel maatgevend, maar is ter controle tevens de grote glijcirkel getoetst. De waarde van de stabiliteitsfactor van het grote glijvlak door de kruin is dan tussen haakjes vermeld.

De resultaten van de stabiliteitsberekeningen zijn ook toegevoegd als bijlage. Deze staan in de Bijlage "Resultaten stabiliteitsberekeningen". De bijlagen zijn genummerd van 1211-0096-000-1 tot en met 1211-0096-000-8. Niet alle resultaten zijn toegevoegd. Alleen de invoer en uitvoer van de maatgevende situatie van de rekenwaarde is toegevoegd. Het gaat hier dus om extreme neerslag voor het profiel 20-34 en om maatgevend hoog water voor profiel 23-64, profiel 28-63 en profiel 28-134.

# Input View



- Materials**
- Veen - Hveen v-a
  - Zand - antropogeen
  - Stortsteen
  - Klei - antr kr
  - Veen - antr kr-b-t
  - Veen - Hveen kr-b-t
  - Zand-losgepak
  - Veen - Hveen w
  - Klei - Calais a
  - Klei - Calais kr
  - Klei - Calais bi
  - Klei - Calais w
  - Zand - Calais
  - Veen - basisveen
  - Zand - pleistoceen

D-Geo Stability 10.1 : DP 20-34 EN.sti



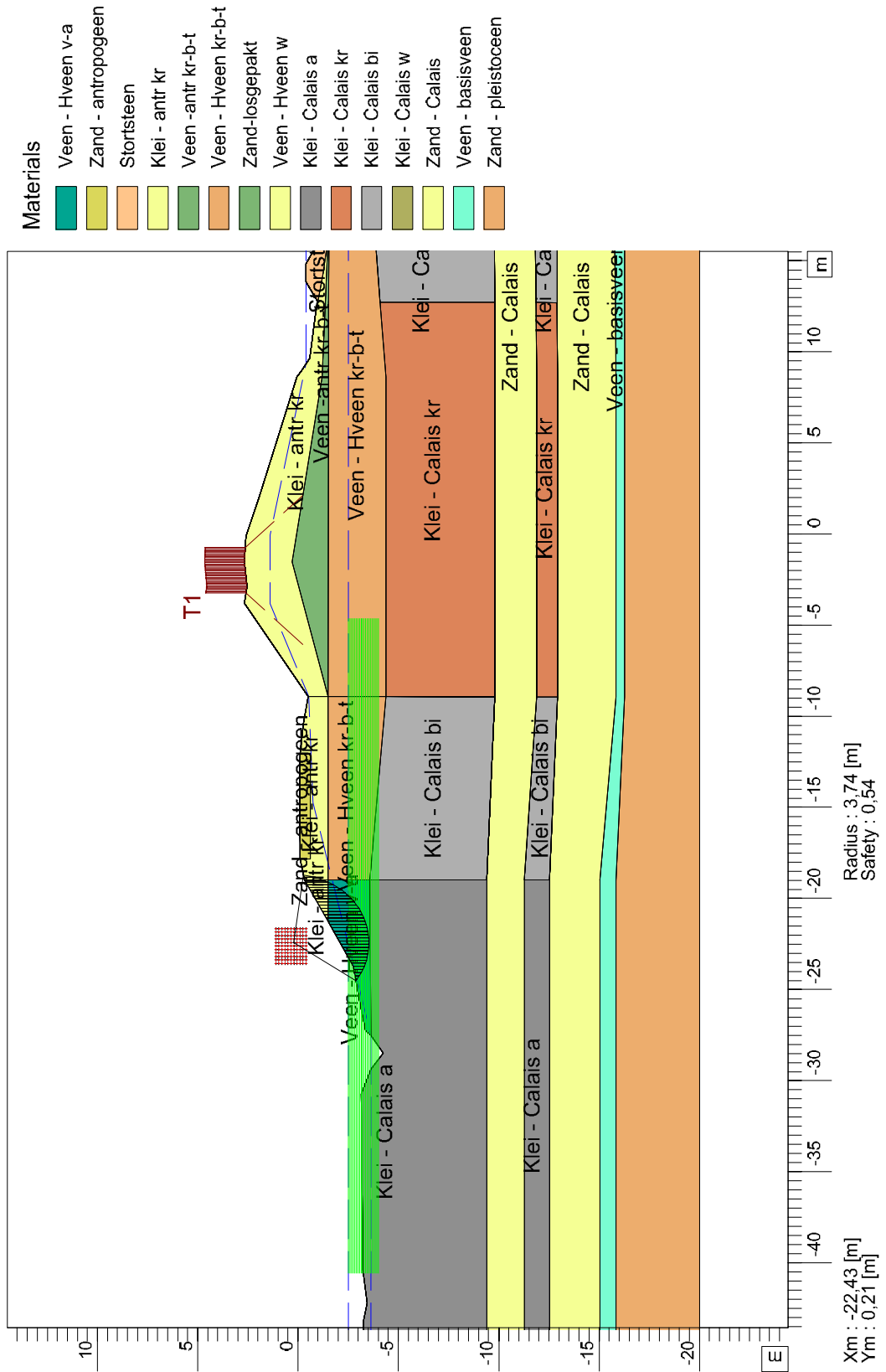
Postbus 1471  
3430BL Nieuwegein

Phone 030 6 028 175  
Fax 030 6 028 199

date	drw.
28-3-2012	BVL
1211-0096-000	ctr.
Annex 1	form. A4

Schematisatie Markermeerdijk, Hoorn - Edam  
Grondeigenschappen Markermeerdijk Noord  
20A-09 DP34 extreme neerslag

# Critical Circle Bishop



D-Geo Stability 10.1 : DP 20-34 EN.sti



Postbus 1471  
3430BL Nieuwegein

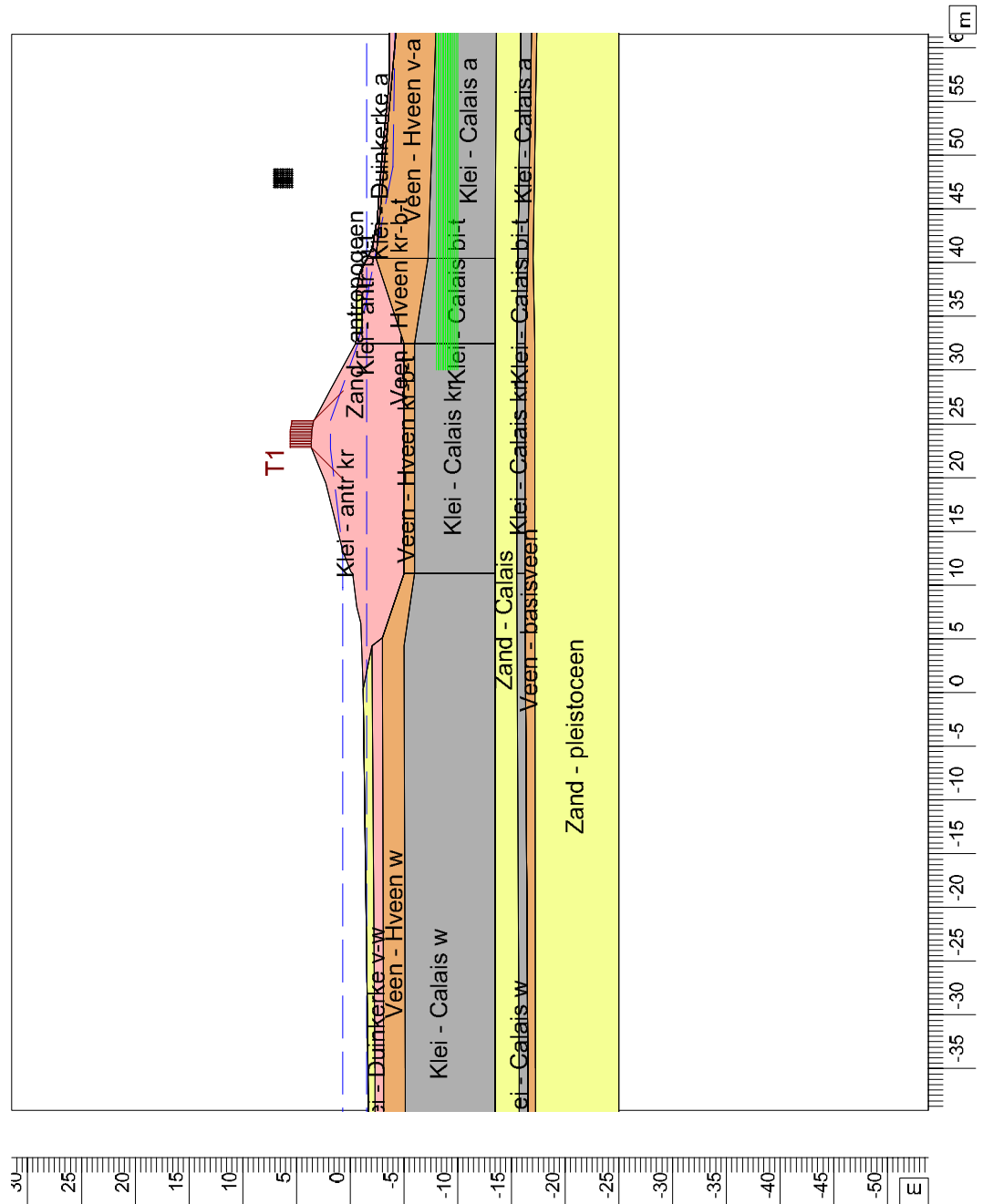
Phone 030 6 028 175  
Fax 030 6 028 199

date	drw.
28-3-2012	BVL

Schematisatie Markermeerdijk, Hoorn - Edam  
Grondeigenschappen Markermeerdijk Noord  
20A-09 DP34 extreme neerslag

1211-0096-000	cr.
Annex 2	form. A4

# Input View



- Materials**
- Klei - antr kr
  - Zand-losgepakt
  - Klei - Duinkerke v-w
  - Veen - Hveen w
  - Zand - antropogeen
  - Klei - Duinkerke a
  - Klei - antr bi-t
  - Veen - Hveen kr-b-t
  - Veen - Hveen v-a
  - Zand - Calais
  - Klei - Calais w
  - Klei - Calais kr
  - Klei - Calais bi-t
  - Klei - Calais a
  - Veen - basisveen
  - Zand - pleistoceen



Postbus 1471  
3430BL Nieuwegein

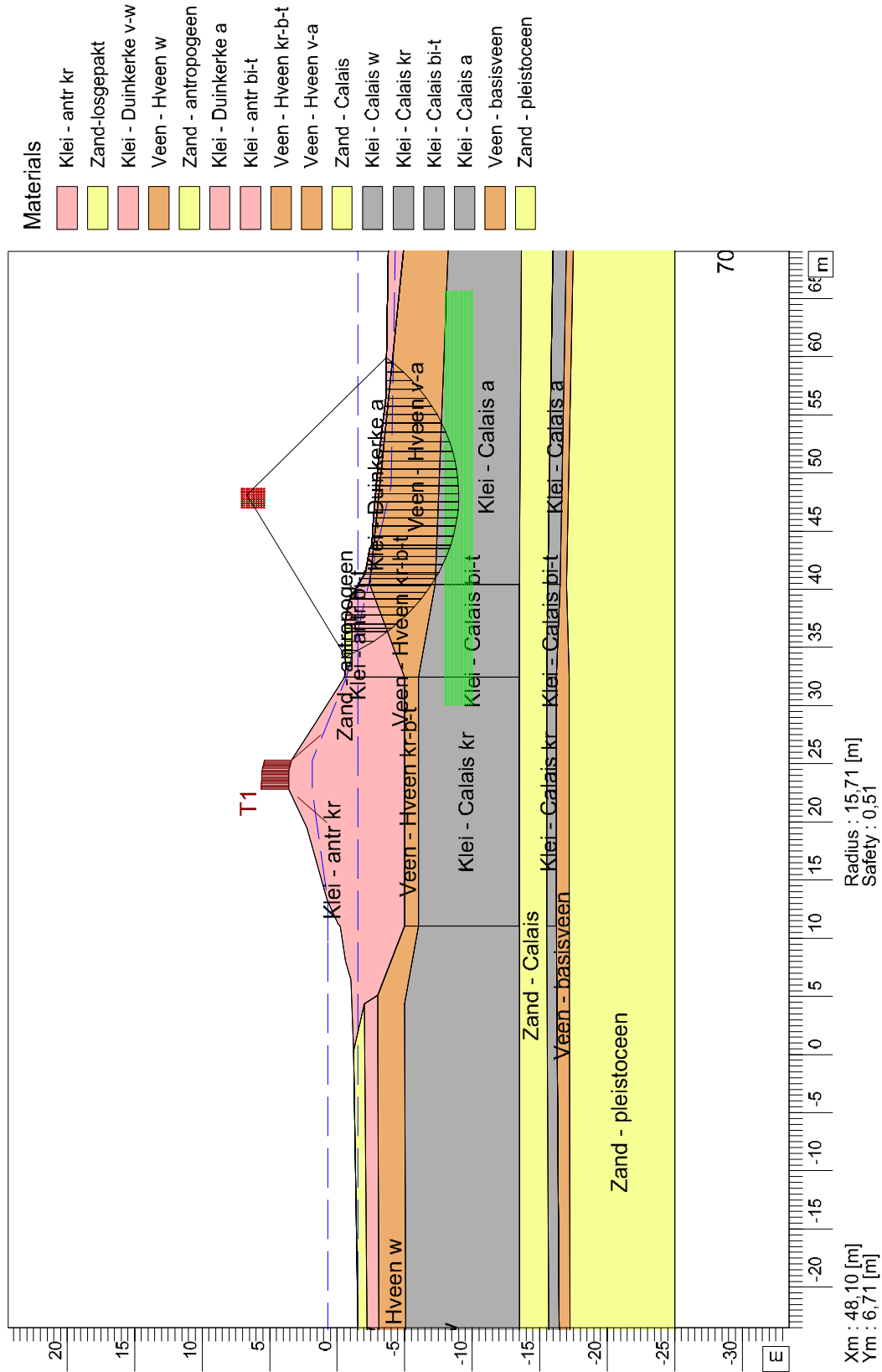
Phone 030 6 028 175  
Fax 030 6 028 199

D-Geo Stability 10.1 : DP 23-64 MHW.st

date	drw.
28-3-2012	BVL
1211-0096-000	cr.
Annex 3	form. A4

Schematisatie Markermeerdijk, Hoorn - Edam  
Grondeigenschappen Markermeerdijk Zuid  
23-06 DP64 Maatgevend hoog water

# Critical Circle Bishop



D-Geo Stability 10.1 : DP 23-64 MHW.st



Postbus 1471  
3430BL Nieuwegein

Phone 030 6 028 175  
Fax 030 6 028 199

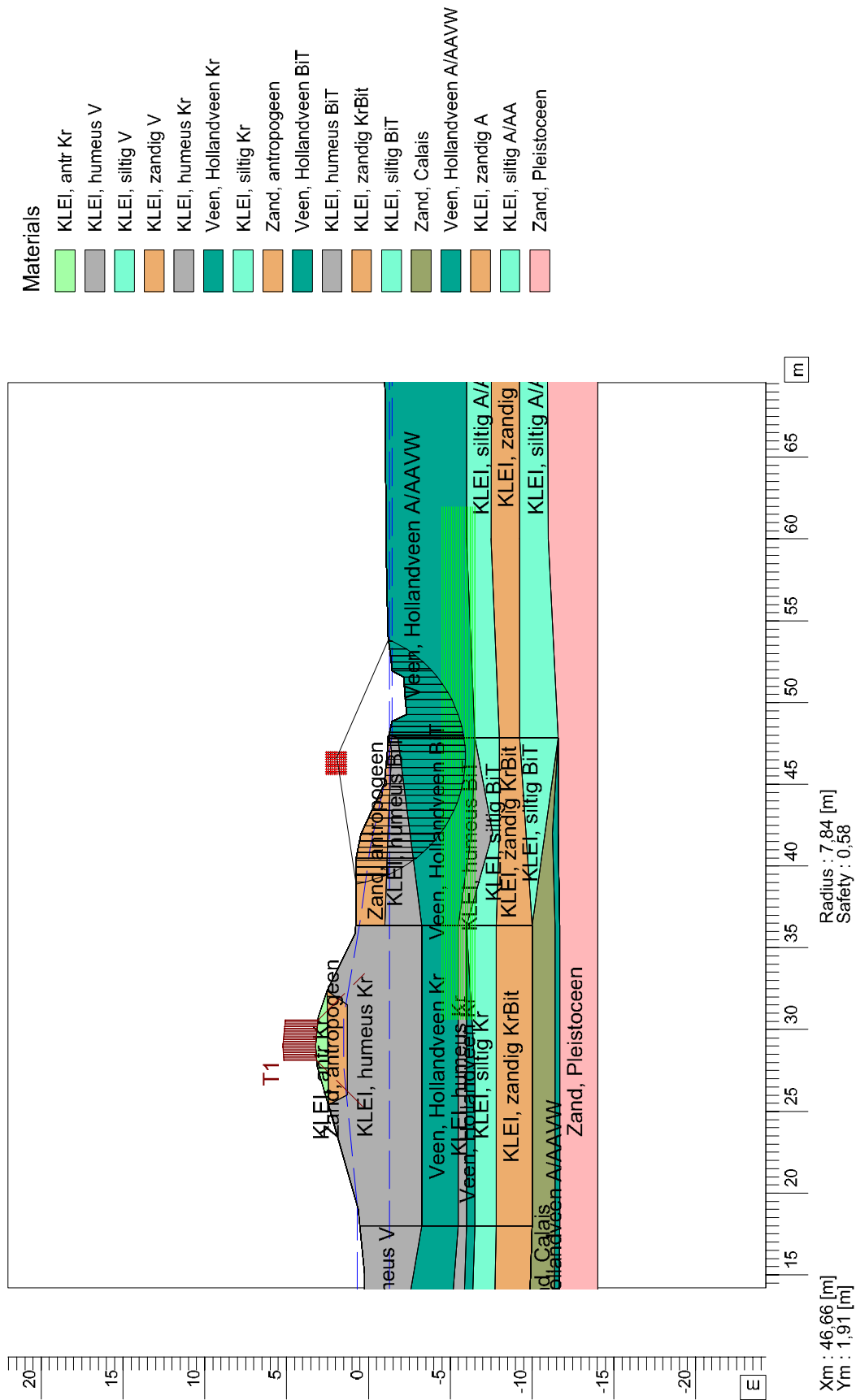
date	drw.
28-3-2012	BVL
1211-0096-000	ctr.
Annex 4	form. A4

Schematisatie Markermeerdijk, Hoorn - Edam  
Grondeigenschappen Markermeerdijk Zuid  
23-06 DP64 Maatgevend hoog water





# Critical Circle Bishop



Postbus 1471  
3430BL Nieuwegein

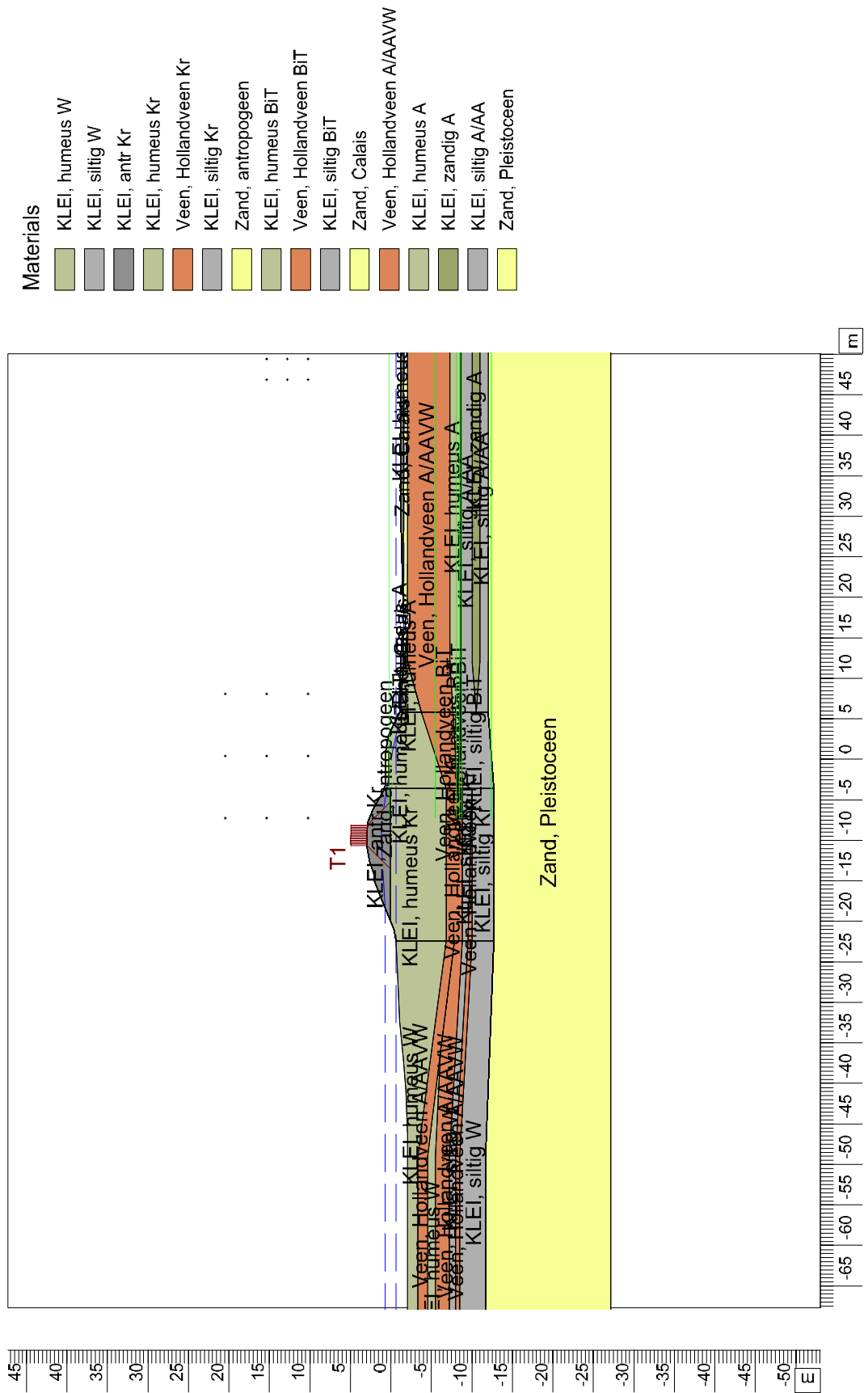
Phone 030 6 028 175  
Fax 030 6 028 199


D-Geo Stability 10.1 : DP 28-63 MHW.st

date	drw.
28-3-2012	BVL
1211-0096-000	ctr.
Annex 6	form. A4

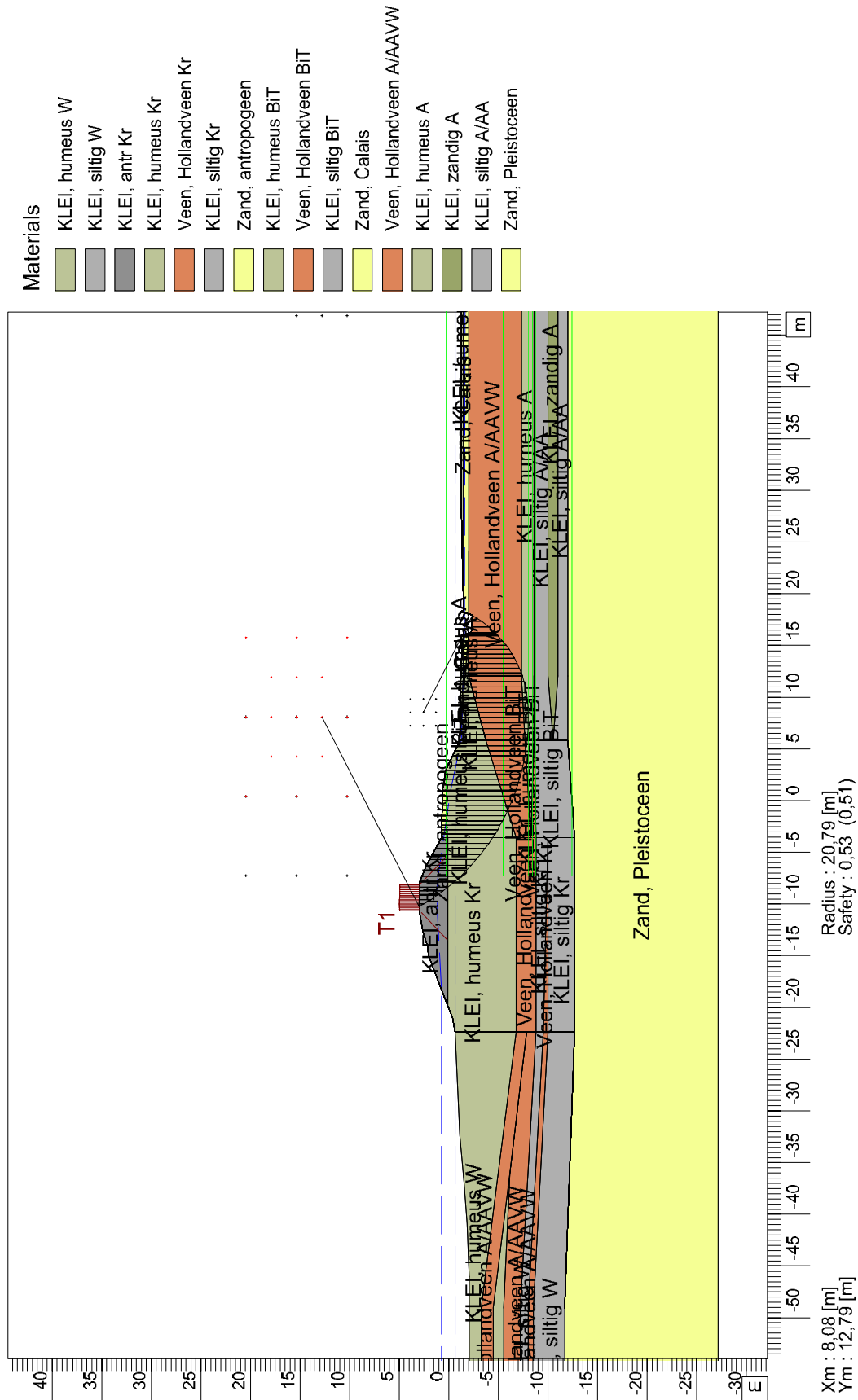
Markermeerdijk tussen Edam en Amsterdam  
Dijkvak 28-2, dijkspaal 63  
Maatgevend hoog water

# Input View



	Postbus 1471 3430BL Nieuwegein	Phone 030 6 028 175 Fax 030 6 028 199	D-Geo Stability 10.1 : DP 28-134 MHW Uplift.sti	
			date	drw.
Markermeerdijk tussen Edam en Amsterdam Dijkvak 28, dijkpaal 134 Maatgevend hoog water, Uplift Van	28-3-2012		BVL	
	1211-0096-000		ctr.	
	Annex	7	form. A4	

# Slip Plane Uplift Van



Postbus 1471  
3430BL Nieuwegein

Phone 030 6 028 175  
Fax 030 6 028 199

D-Geo Stability 10.1 : DP 28-134 MHW Uplift.sti

date 28-3-2012  
drw. BVL

Markermeerdijk tussen Edam en Amsterdam  
Dijkvak 28, dijkpaal 134

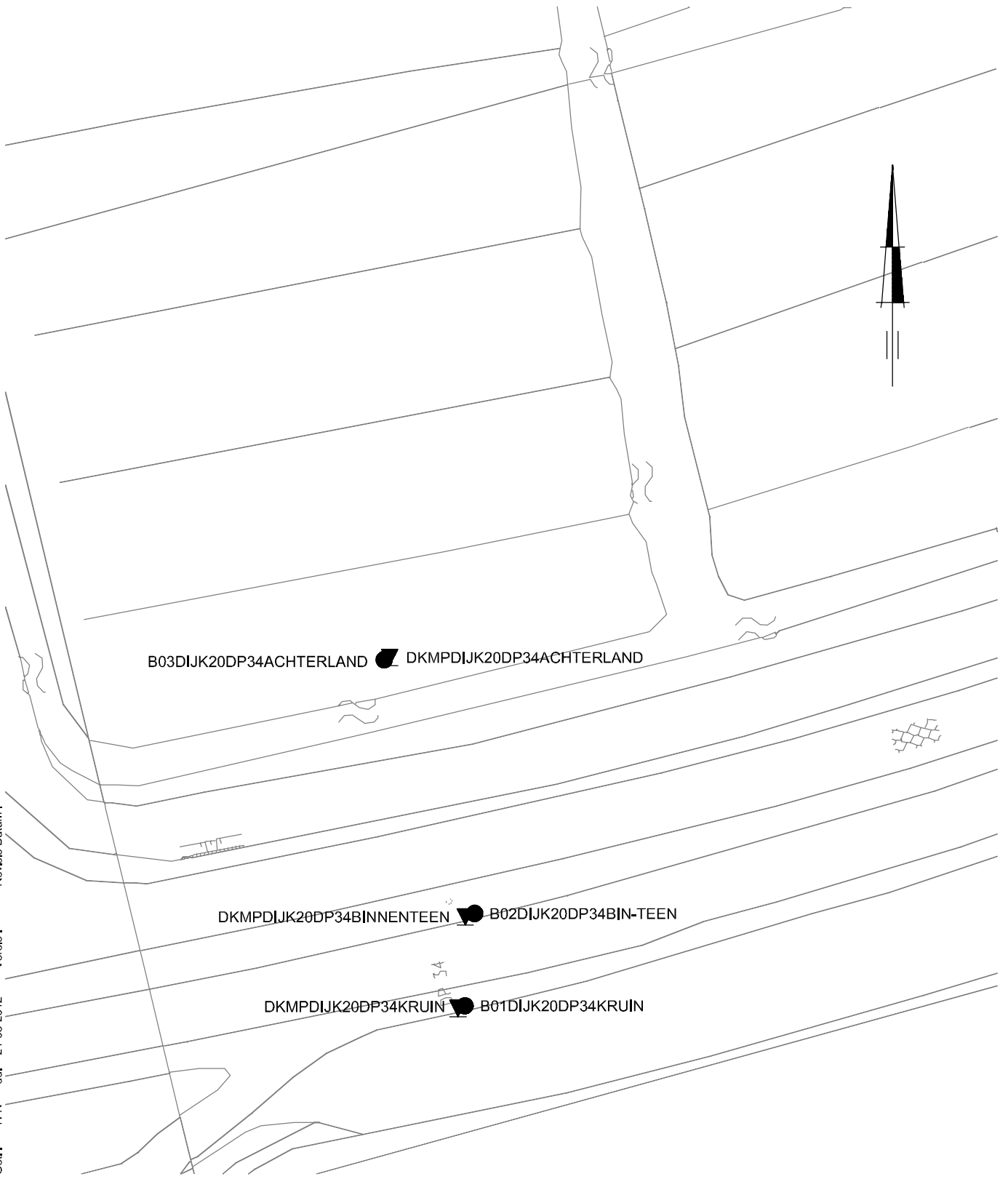
1211-0096-000  
ctr.

Maatgevend hoog water, Uplift Van

Annex 8  
form. A4

## **F Veldwerk t.b.v. doorvertaling door Fugro**

F:\Veldwerk\2111-0004-003\Acad\2111-0004-003-1 tm 4.dwg  
Get.: YFN dd: 21-03-2012  
Versie:   
Revisie Datum:



**SITUATIE**

**MARKEERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN**

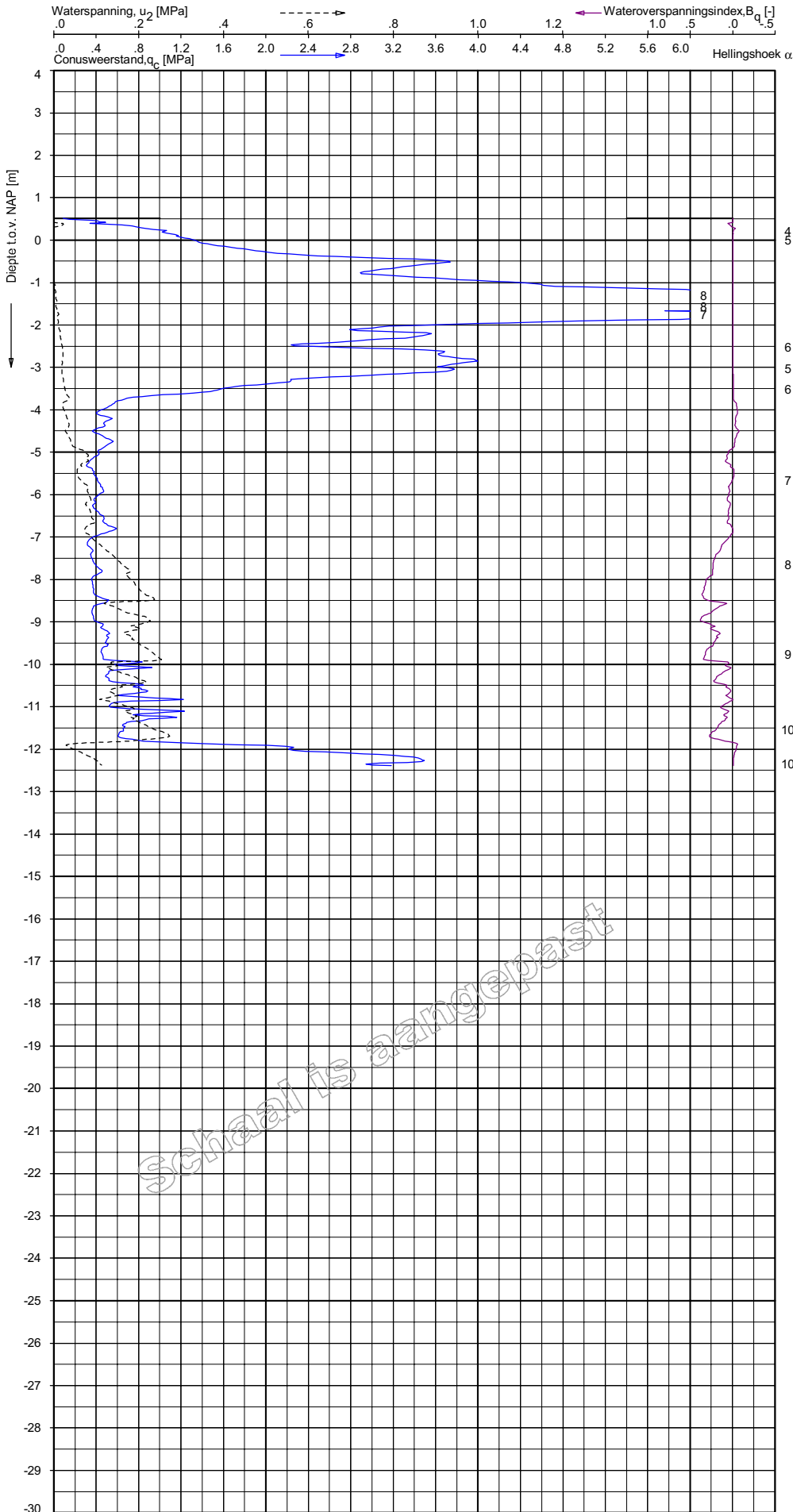
Opdr.: 2111-0004-003

Bijl. : 1

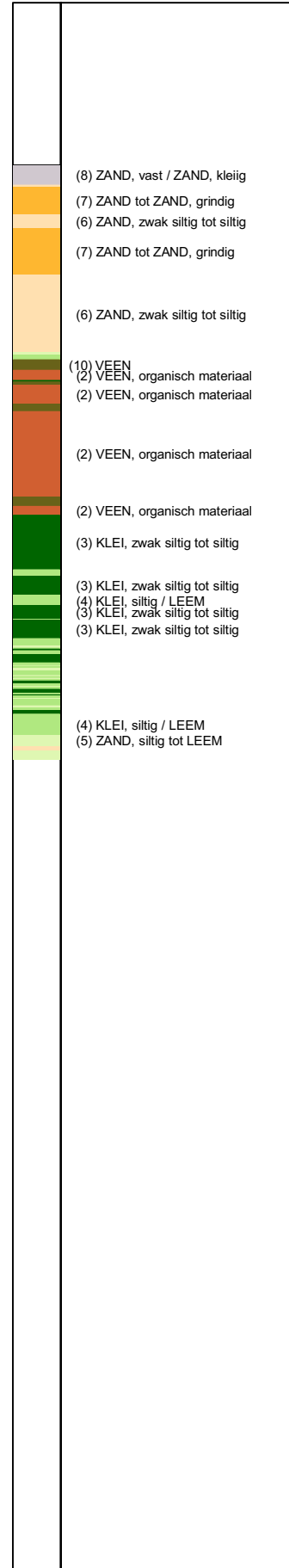
UNIPLOT 05.08.11 / Q:\Z\Class-N3\_6\Mapa.cmf / 2012-03-14 15:09:47

2111-0004-003

DKMPDIJK28DP134MIDDENBERM - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Schaal is aangepast

Opg.: JBN d.d. 13-Mar-2012 conus: A15F1.5SKE2HAW\_2/B PK = 130021.3  
 Get.: UNISTART d.d. 2012-03-14 MV = NAP +0.51 m Y = 48883.4

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

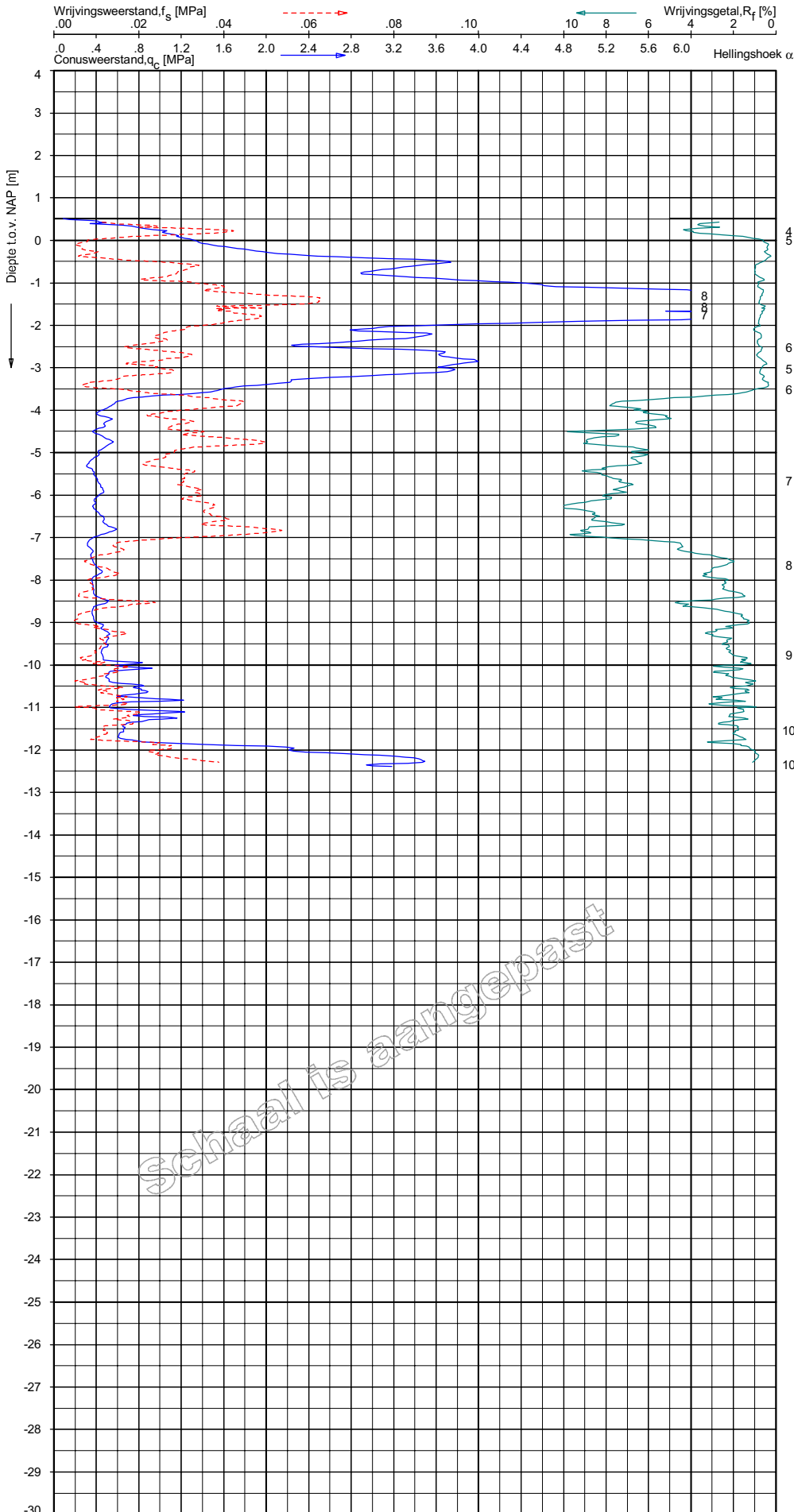
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK28DP134MIDDENBERM

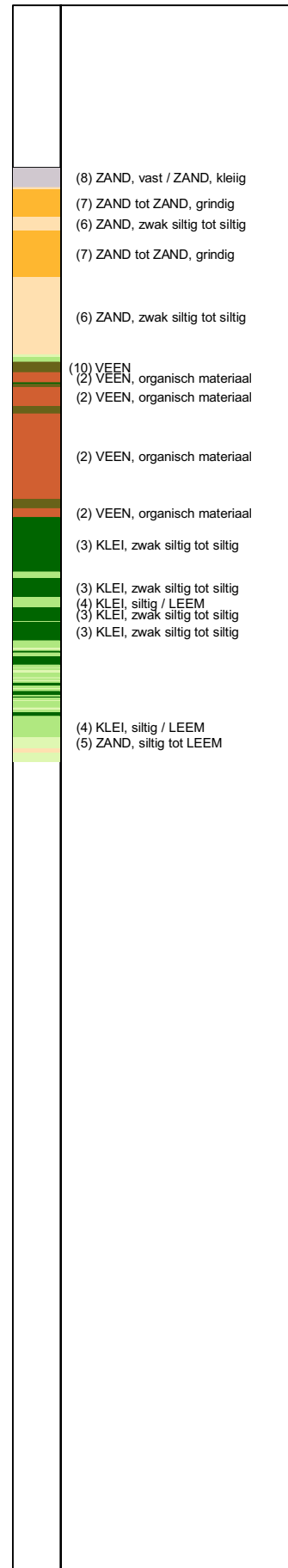
UNIPLOT 05.18.nl / Q:\F\Class\NS\_6Mpa.cmf / 2012-03-14 15:08:21

2111-0004-003

DKMPDIJK28DP134MIDDENBERM - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 13-Mar-2012 conus: A15F1.5SKE2HAW\_2/B PK = 130021.3  
 Get.: UNISTART d.d. 2012-03-14 MV = NAP +0.51 m Y = 488883.4

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

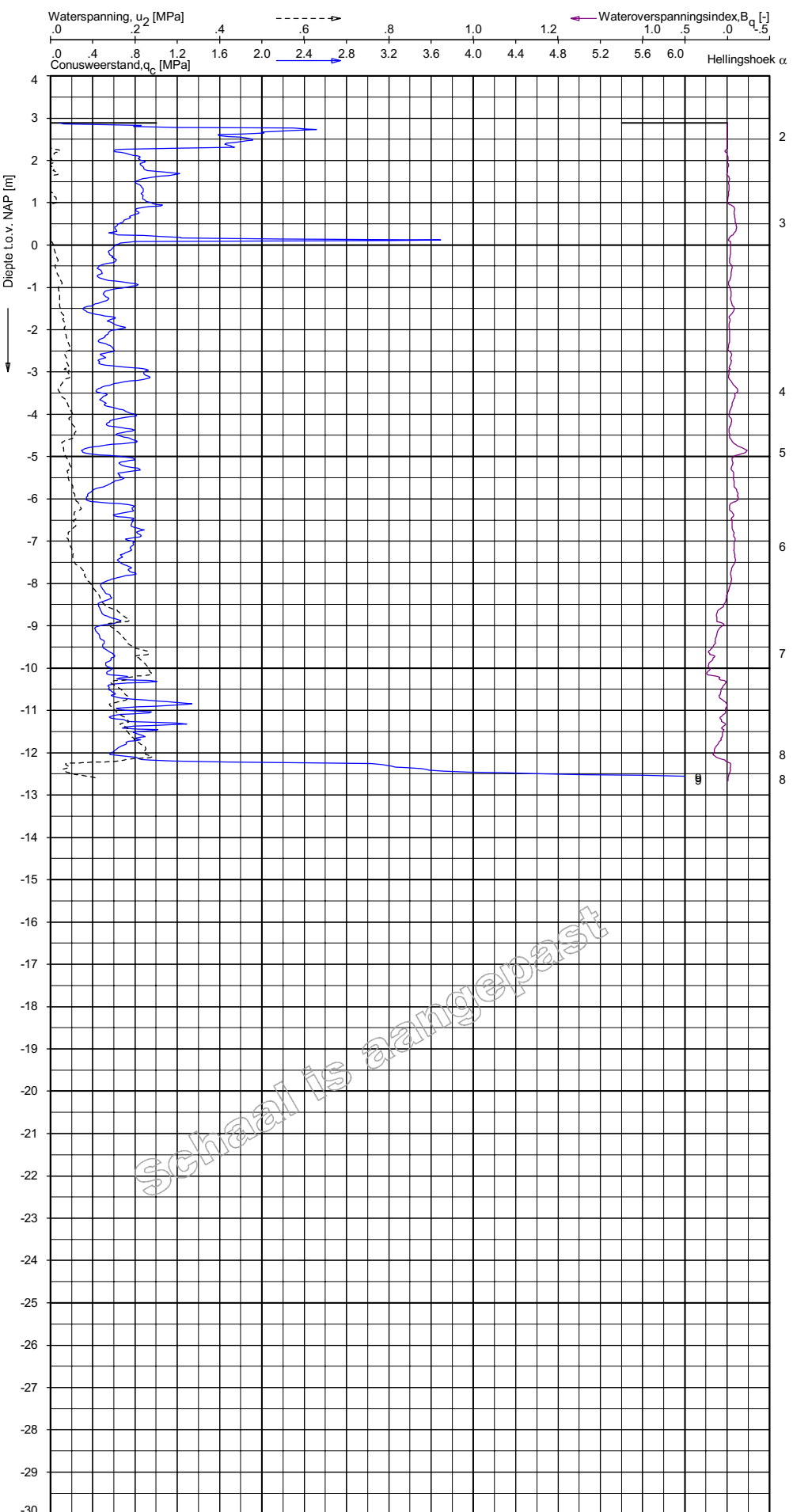
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK28DP134MIDDENBERM

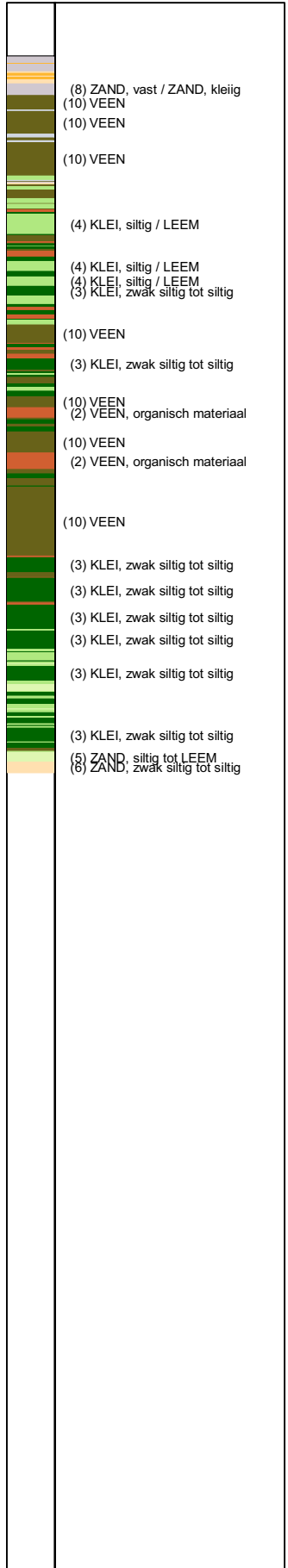
UNIPLOT 05.03.11 / Q:\Z\Class-N3\_6MFA.cmf / 2012-03-14 15:09:44

2111-0004-003

DKMPDIJK28DP134KRUIN - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opp.: JBN d.d. 12-Mar-2012 conus: A15F1.5CKE2HAW\_2/B FK = 130020.0  
 Get.: UNISTART d.d. 2012-03-14 MV = NAP +2.88 m Y = 488871.0  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING  
 MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

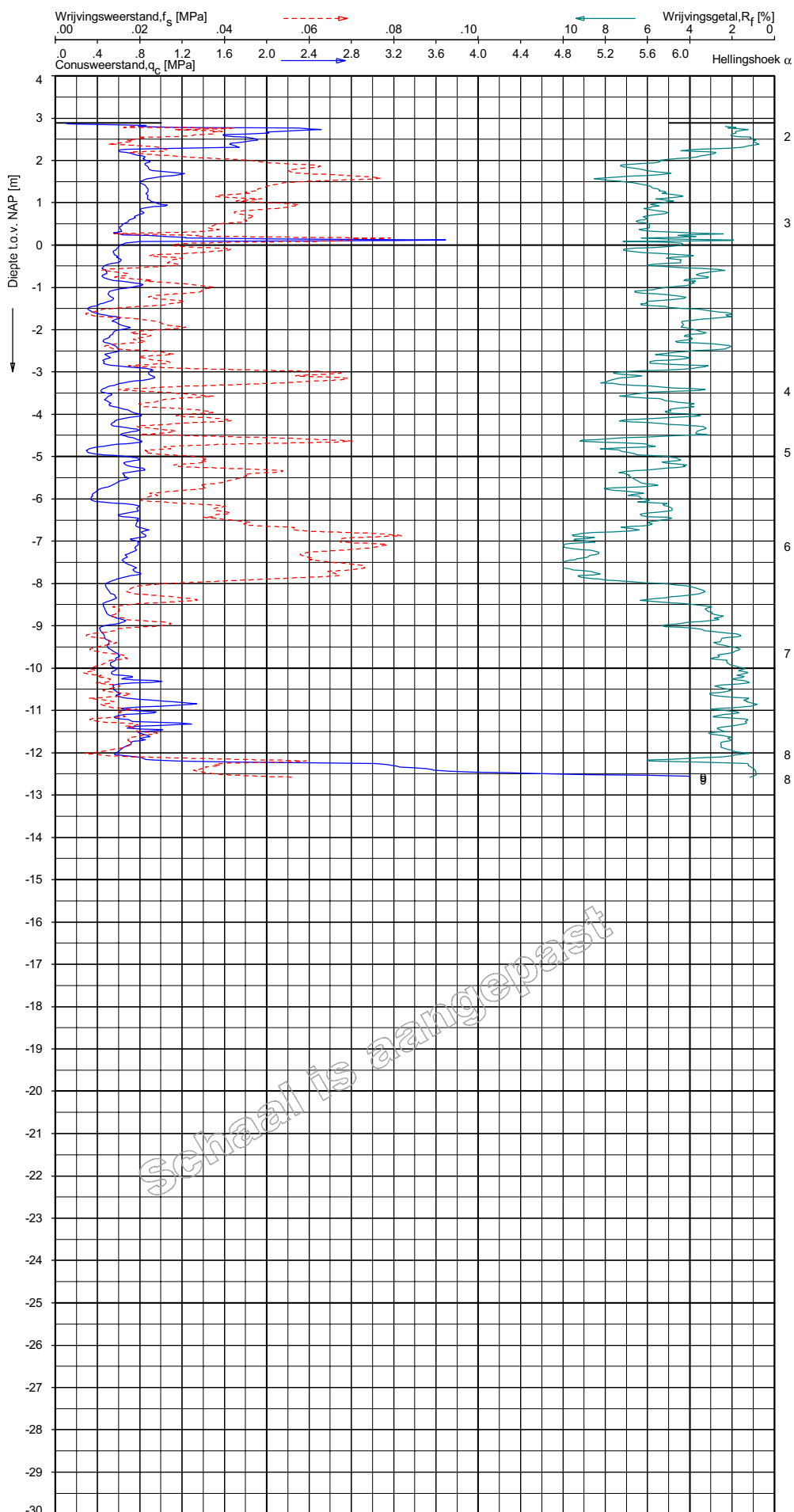
Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK28DP134KRUIN



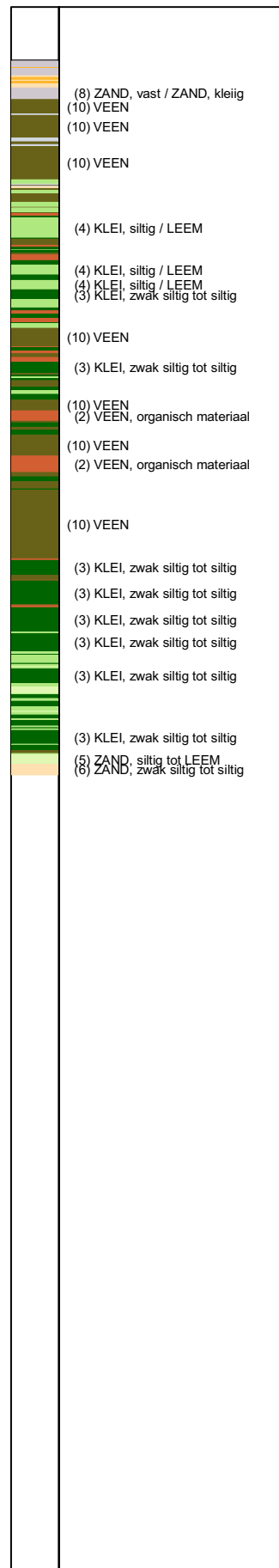
UNIPLOT\_05.05.01 / Q:\S\Classics\_NS\_01\05a.cmf / 2012-03-14 15:08:18

2111-0004-003

DKMPDIJK28DP134KRUIJN - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
Automatisch gegenereerd uit data  
van de sondering, geldig onder  
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opp.: JBN d.d. 12-Mar-2012 conus: A15F1.5CKE2HAW\_2/B PK = 130020.0  
Get.: UNISTART d.d. 2012-03-14 MV = NAP +2.88 m Y = 488871.0

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

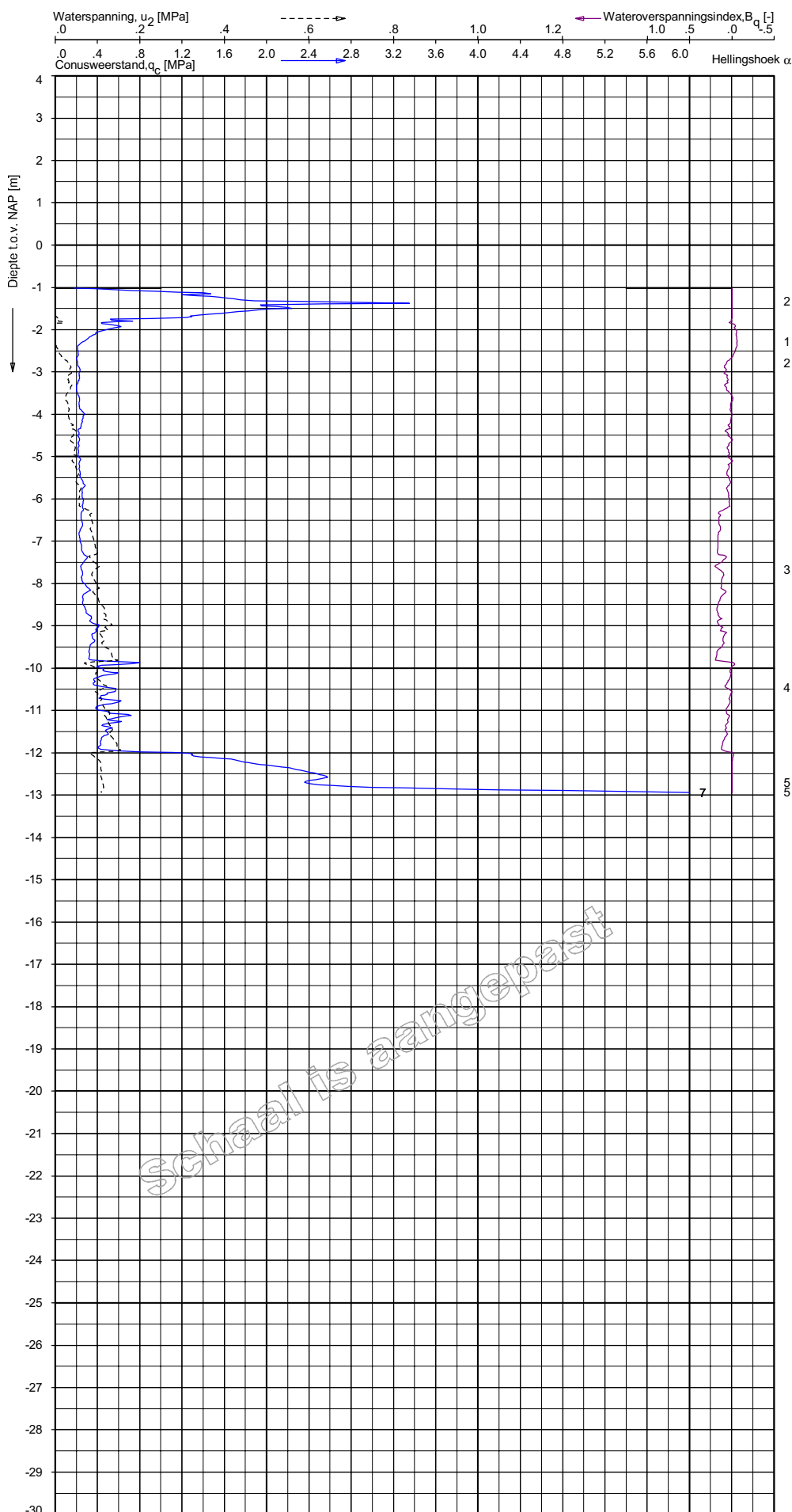
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
Sond. DKMPDIJK28DP134KRUIJN

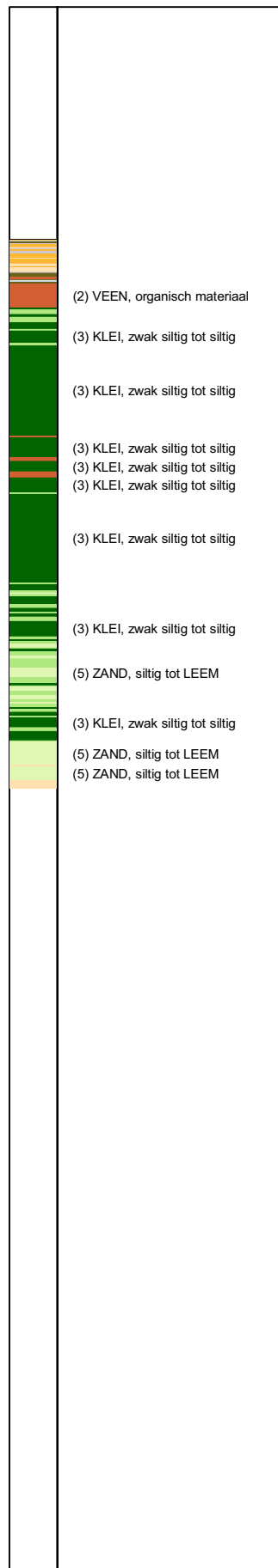
UNIPLOT 05.03.11 / Q:\Uitslagen\_NL\_6MFA.cmf / 2012-03-14 15:09:42

2111-0004-003

DKMPDIJK28DP134ACHTERLAND - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Schaal is aangepast

Opg.: JBN d.d. 13-Mar-2012 conus: A15F1.5SKE2HAW<sub>2</sub>B FK = 130010.1  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-03-14 MV = NAP -1.02 m Y = 488903.1

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

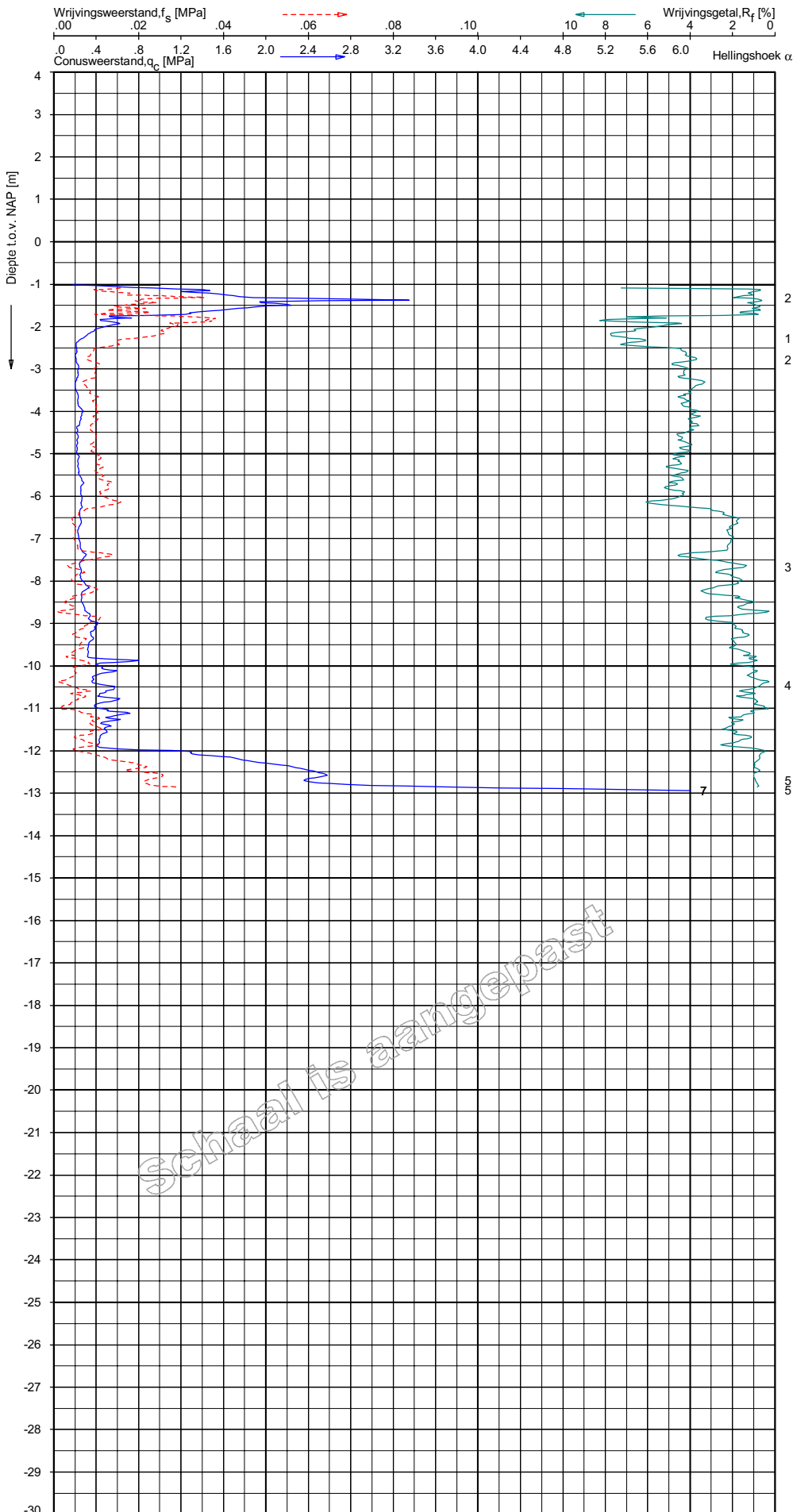
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK28DP134ACHTERLAND

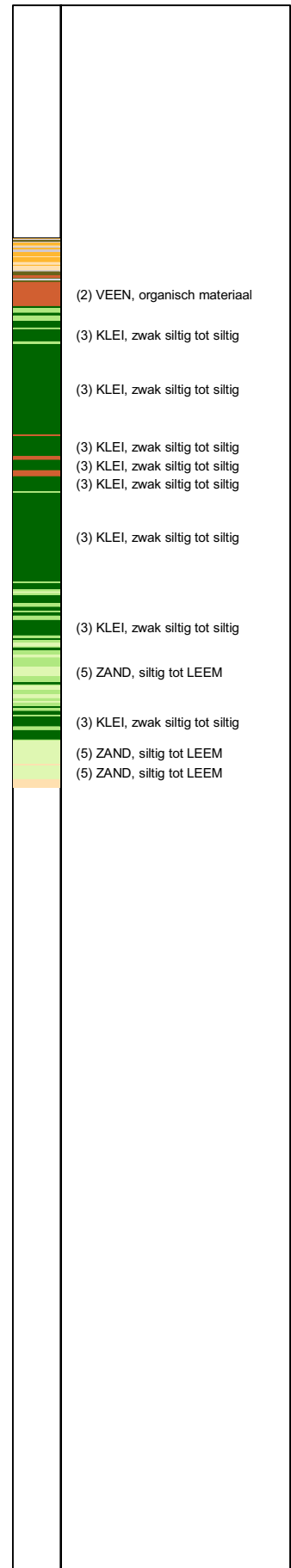
UNIPLOT 05.18.nl / QdFClasses\_NS\_6Mpa.cmf / 2012-03-14 15:08:16

2111-0004-003

DKMPDIJK28DP134ACHTERLAND - 1



**Indicatieve bodembesrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 13-Mar-2012 conus: A15F1.5SKE2HAW\_2/B PK = 130010.1  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-03-14 MV = NAP -1.02 m Y = 488903.1

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

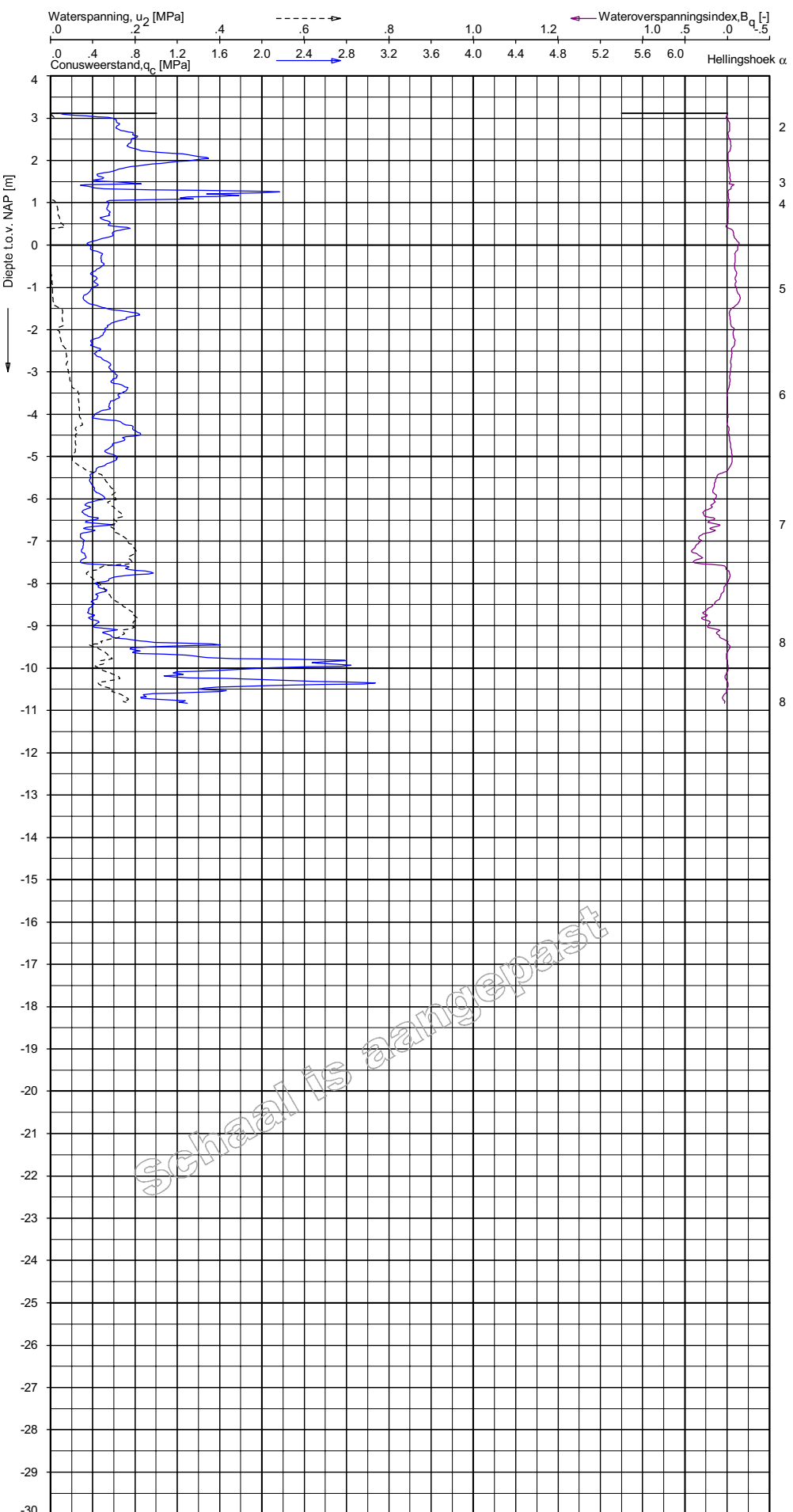
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK28DP134ACHTERLAND

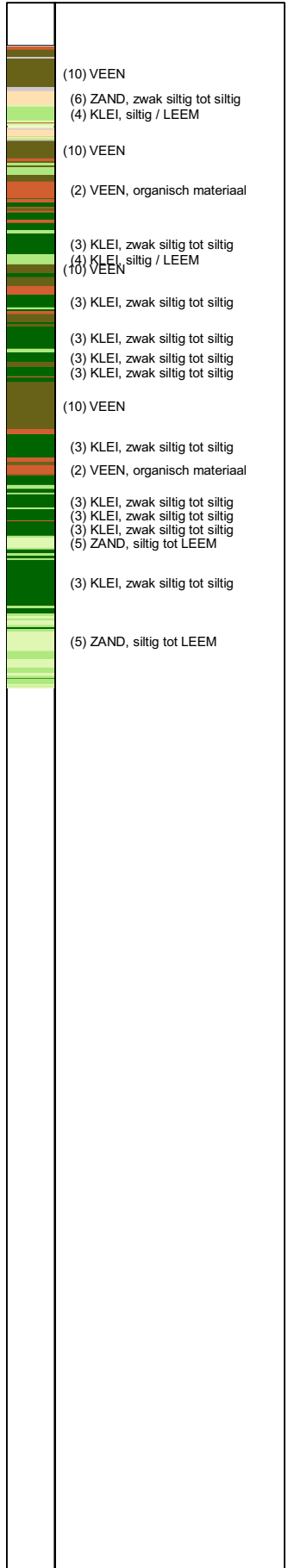
U:\NIPLOT\_05\_18.nl / OudZclass-N3\_6MFA.cmf / 2012-03-14 15:09:50

2111-0004-003

DKMPDIJK28DP63KRUIJN - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 08-Mar-2012 conus: A15F1.5CKE2HAW\_2/B PK = 133528.8  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-03-14 MV = NAP +3.11 m Y = 493574.3  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



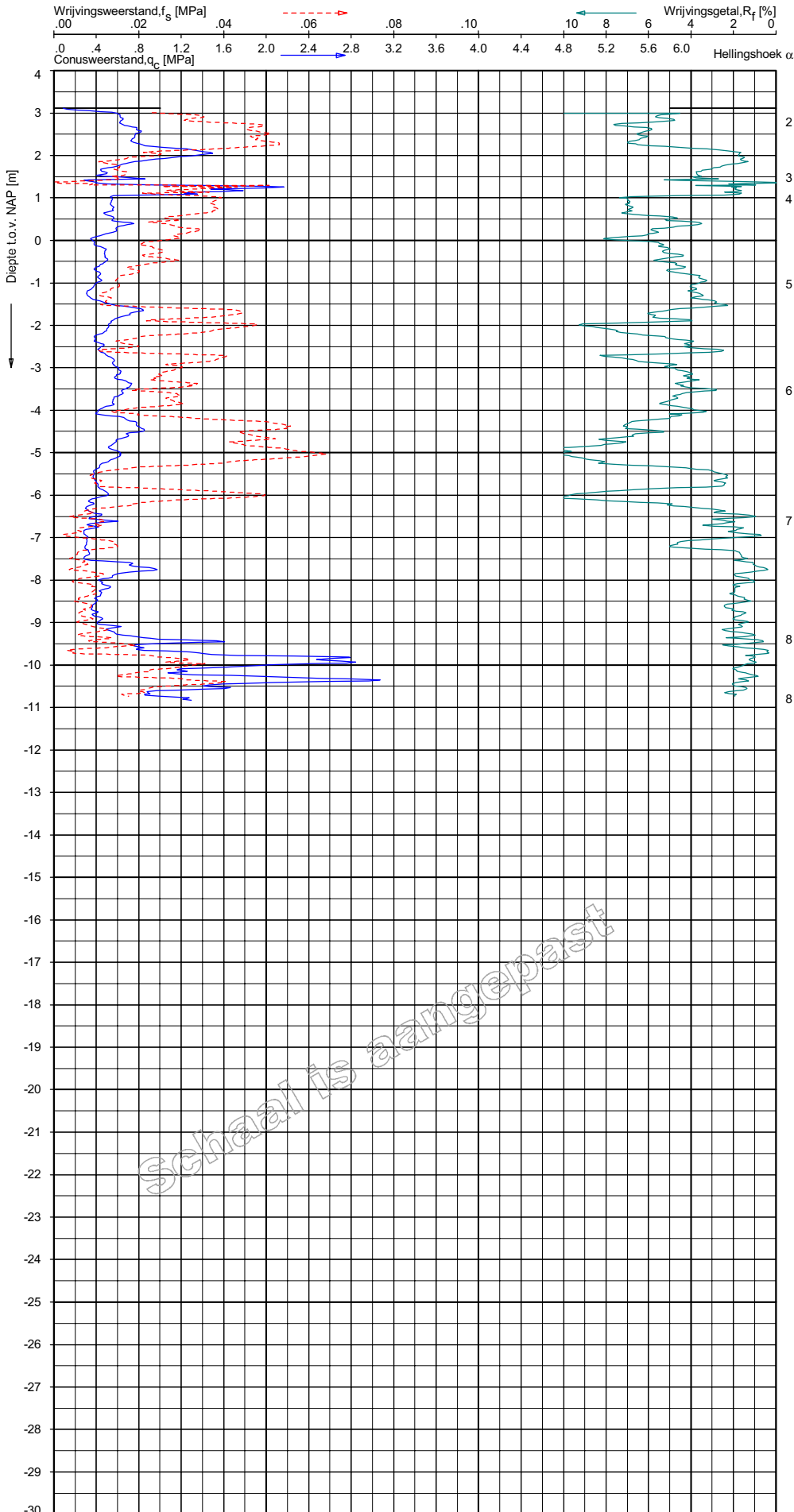
SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING  
 MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK28DP63KRUIJN

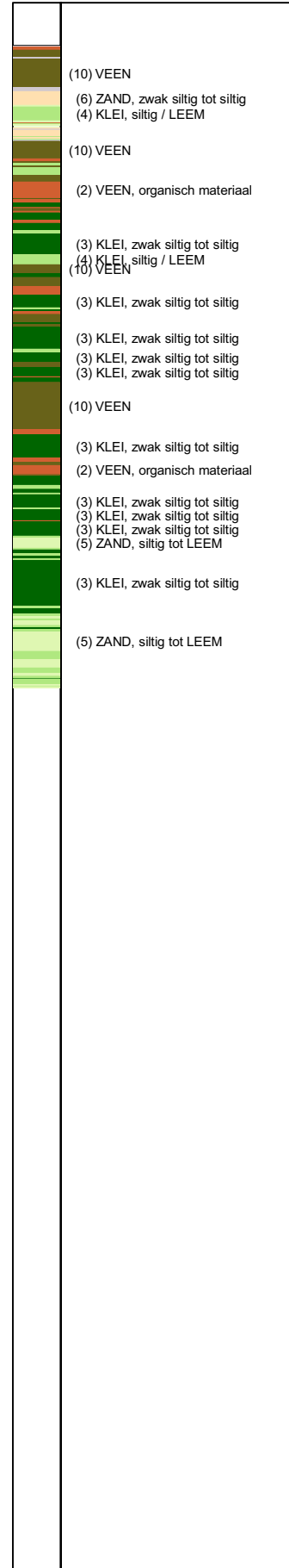
UNIPLOT 05.18.nl / QdFClasses\_NS\_6Mpa.cmf / 2012-03-14 15:08:24

2111-0004-003

DKMPDIJK28DP63KRUIJN - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Schaal is aangepast

Opp.: JBN d.d. 08-Mar-2012 conus: A15F1.5CKE2HAW\_2/B PK = 133528.8  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-03-14 MV = NAP +3.11 m Y = 493574.3

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

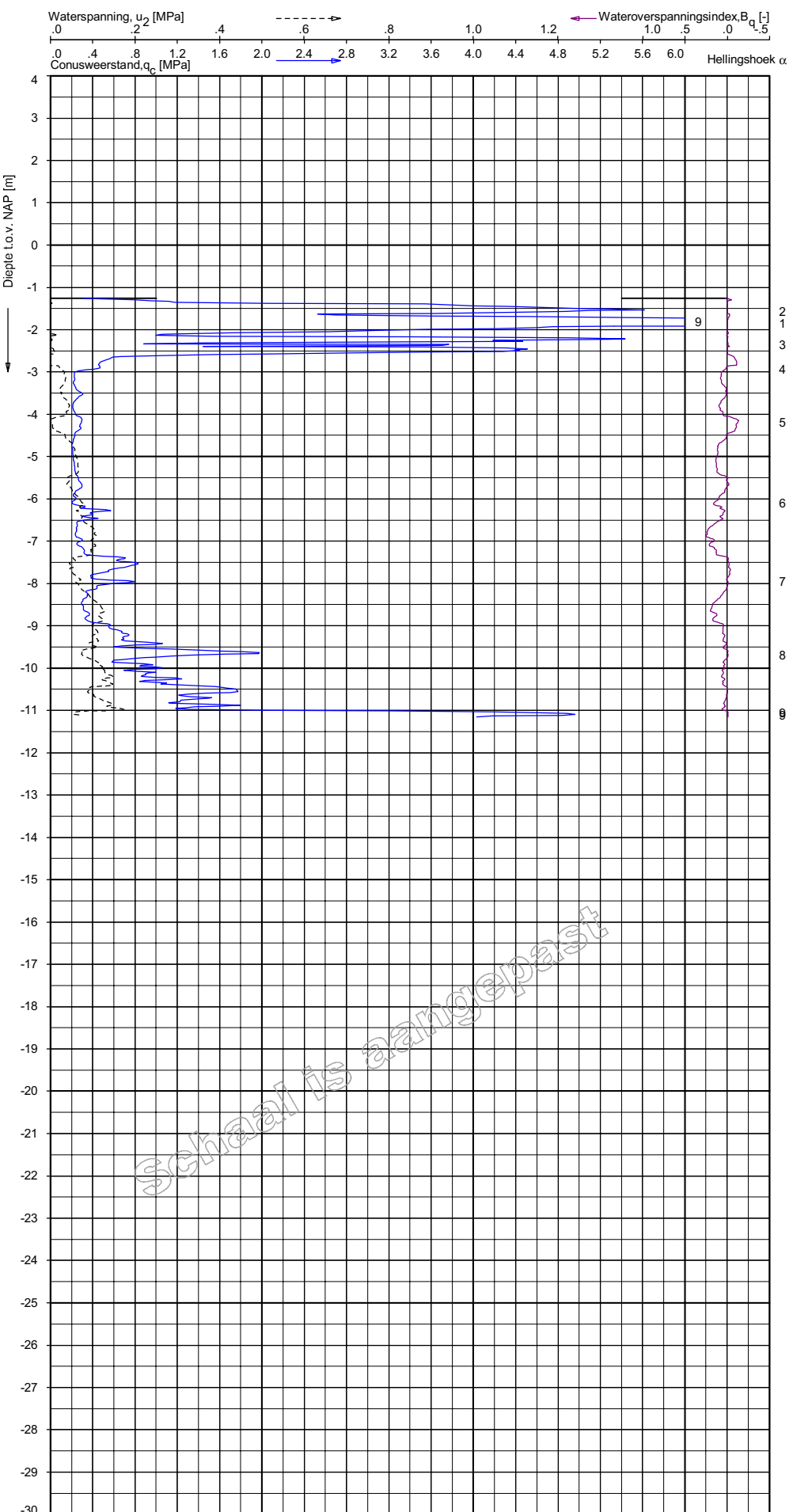
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK28DP63KRUIJN

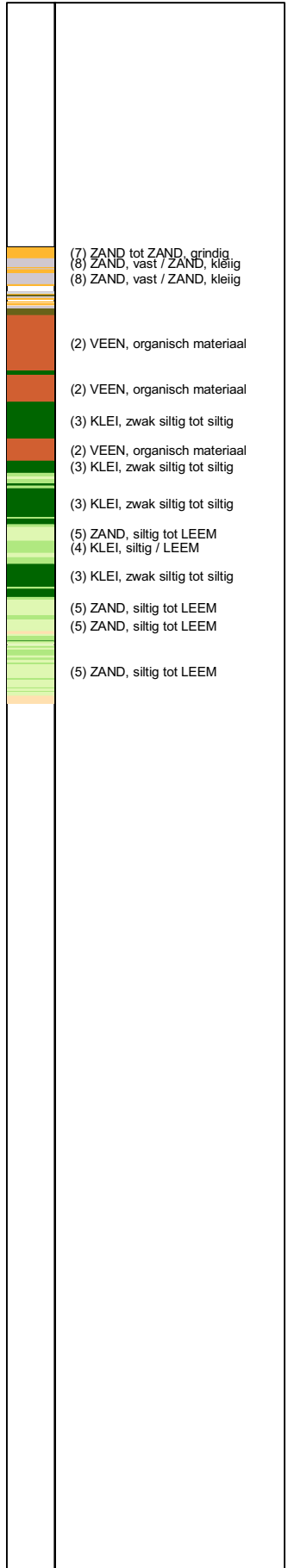
UNIPLOT 05.08.nl / QdZClass-N3\_6kPa.cmf / 2012-03-14 15:09:25

2111-0004-003

DKMPDIJK28DP63ACHTERLAND - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



*Schaal is aangepast*

Opp.: JBN d.d. 09-Mar-2012 conus: A15F1.5CKE2HAW\_2/B PK = 133505.8  
 Get.: KOOGERS d.d. 2012-03-14 MV = NAP -1.26 m Y = 493586.6

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

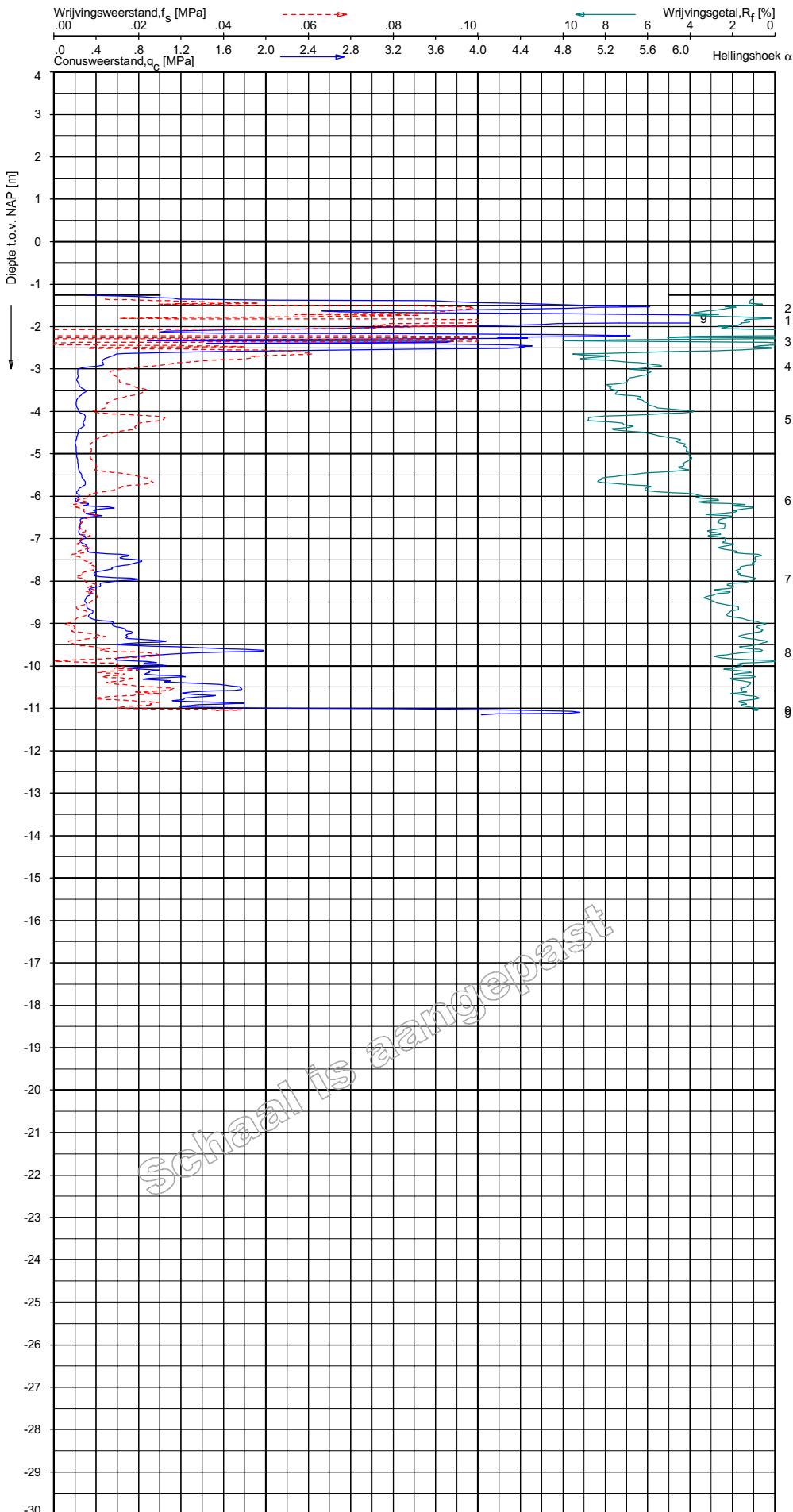
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK28DP63ACHTERLAND

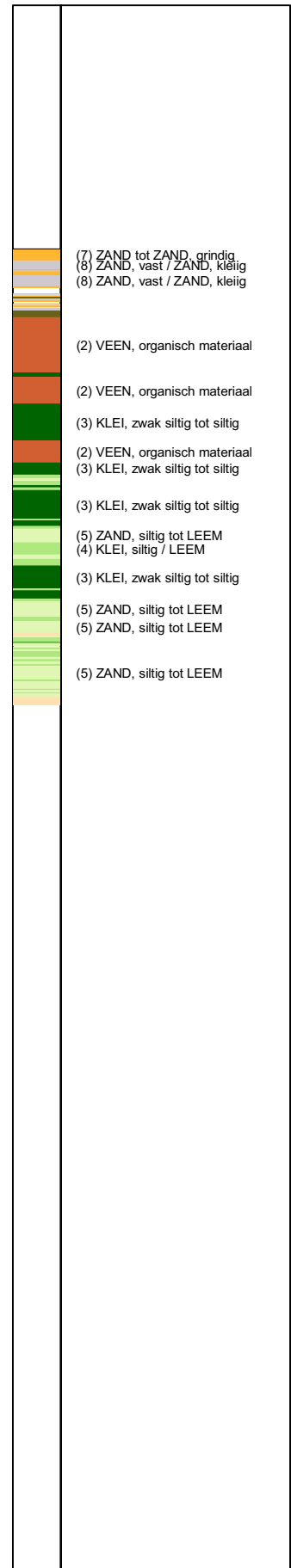
UNIPLOT 05.18.nl / Q:\F\Classens\_GM\Pa.cmf / 2012-03-14 15:07:59

2111-0004-003

DKMPDIJK28DP63ACHTERLAND - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 09-Mar-2012 conus: A15F1.5CKE2HAW\_2/B PK = 133505.8  
 Get.: KOOGERS d.d. 2012-03-14 MV = NAP -1.26 m Y = 493586.6

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

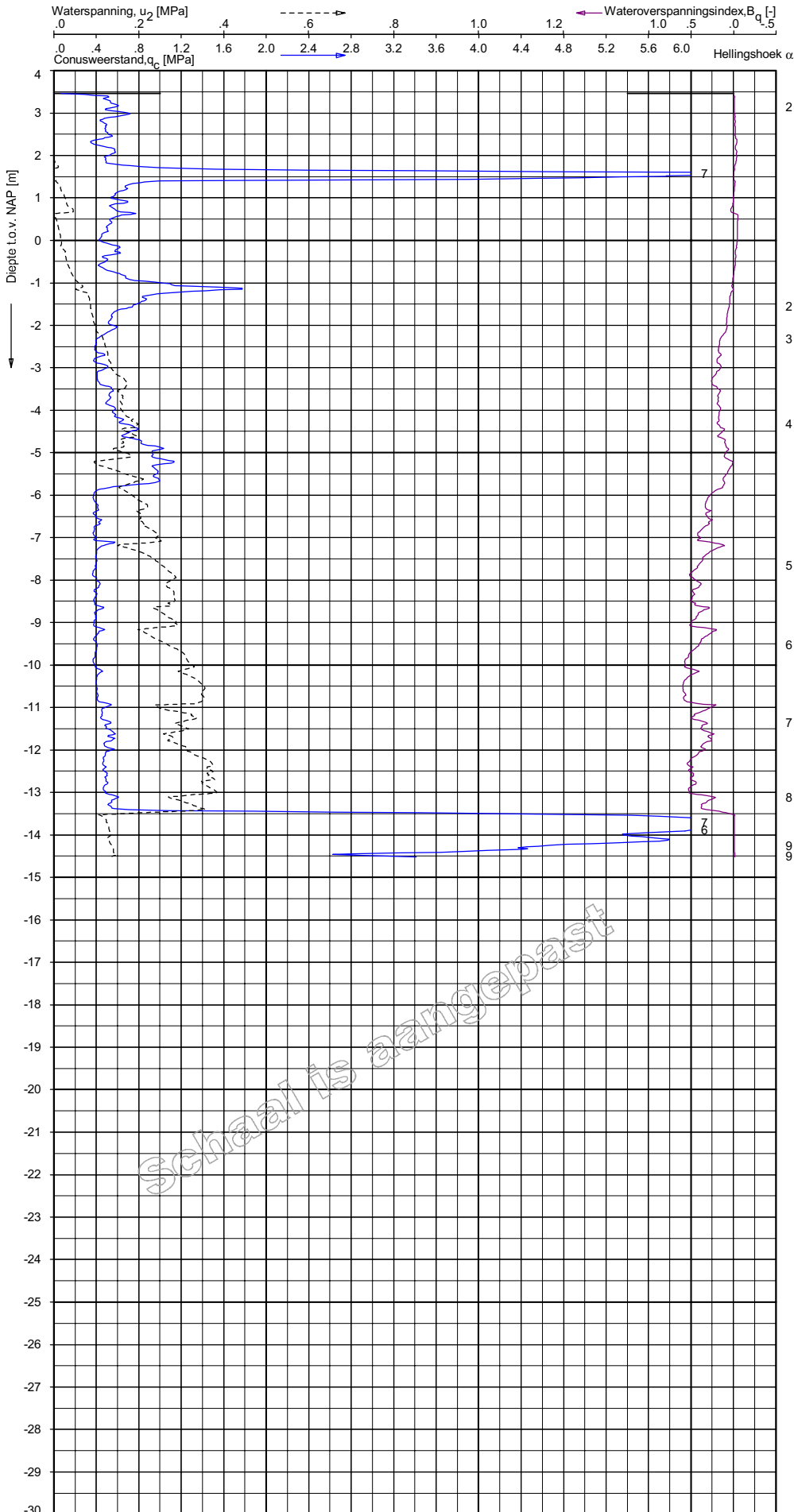
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK28DP63ACHTERLAND

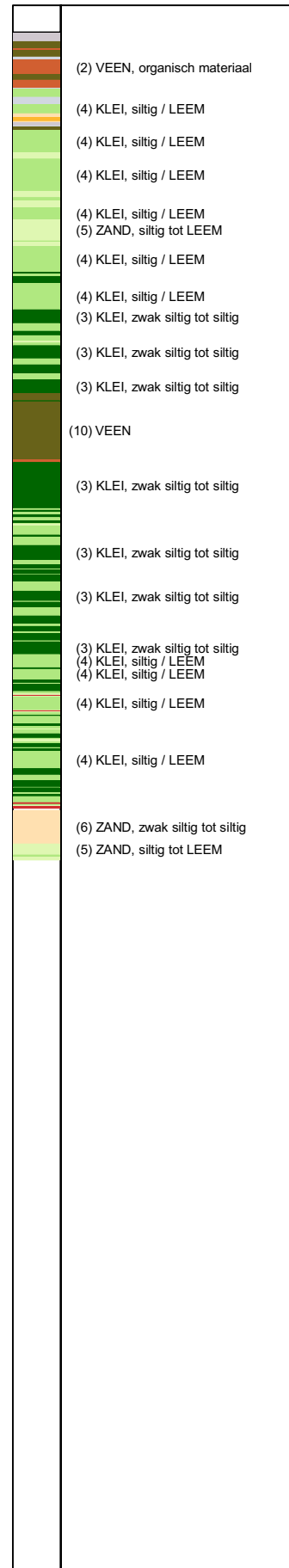
UNIPLOT 05.03.11 / Q:\2\Class-N3\_6MFA.amf / 2012-03-14 15:09:39

2111-0004-003

DKMPDIJK23DP64KRUIJN - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Schaal is aangepast

Opp.: JBN d.d. 07-Mar-2012 conus: A15F1.5CKE2HAW\_2/B PK = 131906.2 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-03-14 MV = NAP +3.45 m Y = 507429.4 Conusstype cilindrisch elektrisch, 1500 mmr.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

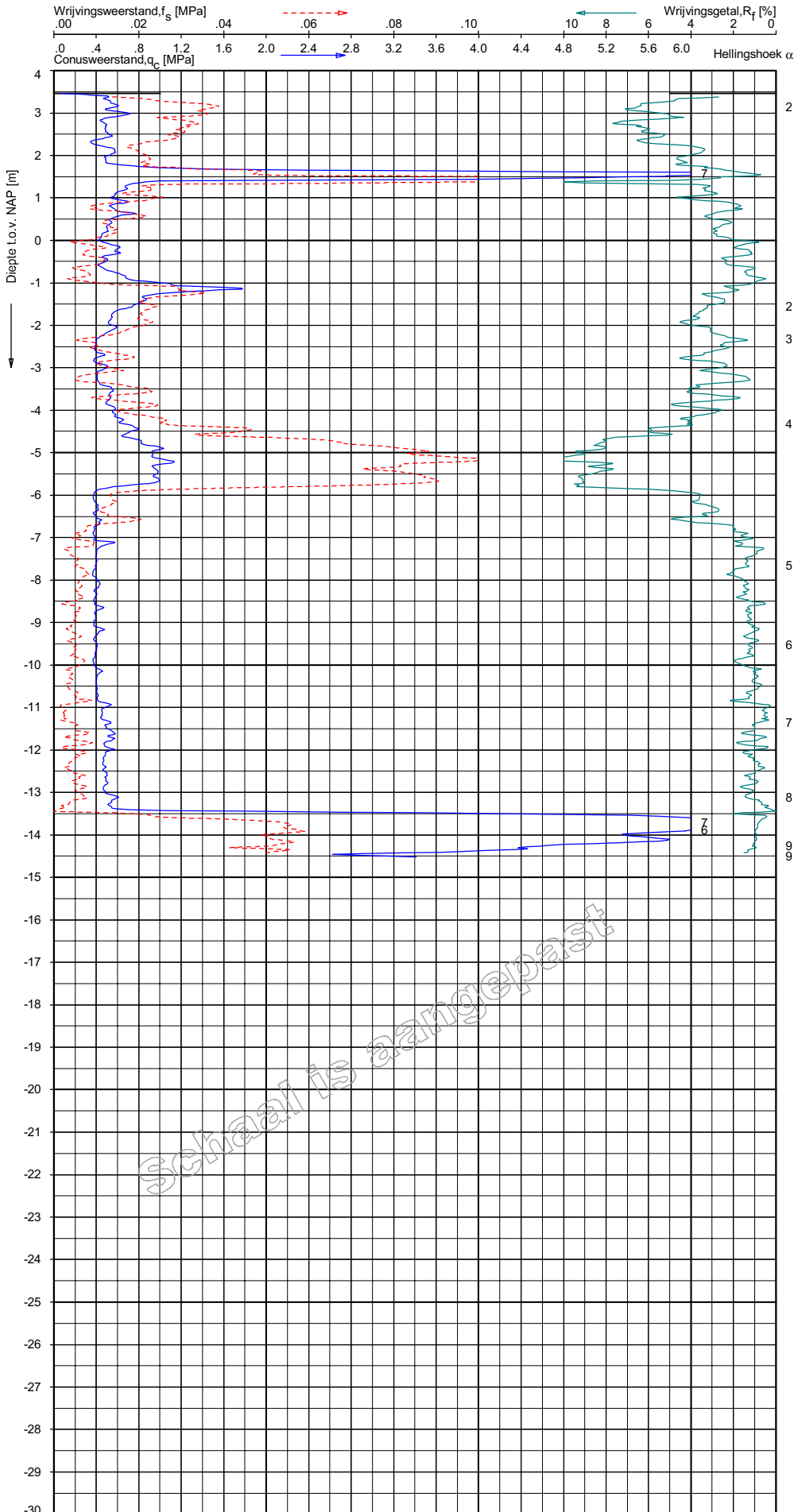
Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK23DP64KRUIJN



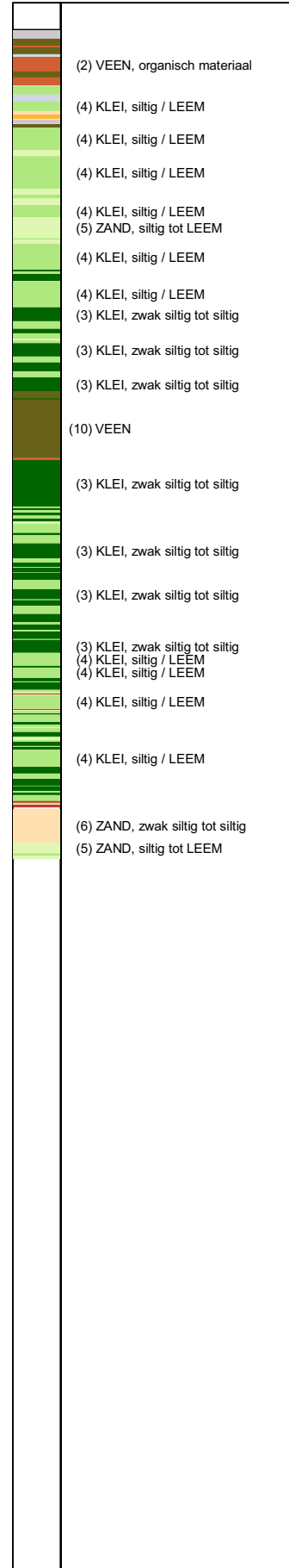
DKMPLOT\_05\_18\_11 / Q:\S\Classen\_NS\_6MPa.cmf / 2012-03-14 15:08:13

2111-0004-003

DKMPDIJK23DP64KRUIJN - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
Automatisch gegenereerd uit data  
van de sondering, geldig onder  
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opp.: JBN d.d. 07-Mar-2012 conus: A15F1.5CKE2HAW\_2/B PK = 131906.2 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
Get.: LEEUWEST d.d. 2012-03-14 MV = NAP +3.45 m Y = 507429.4 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

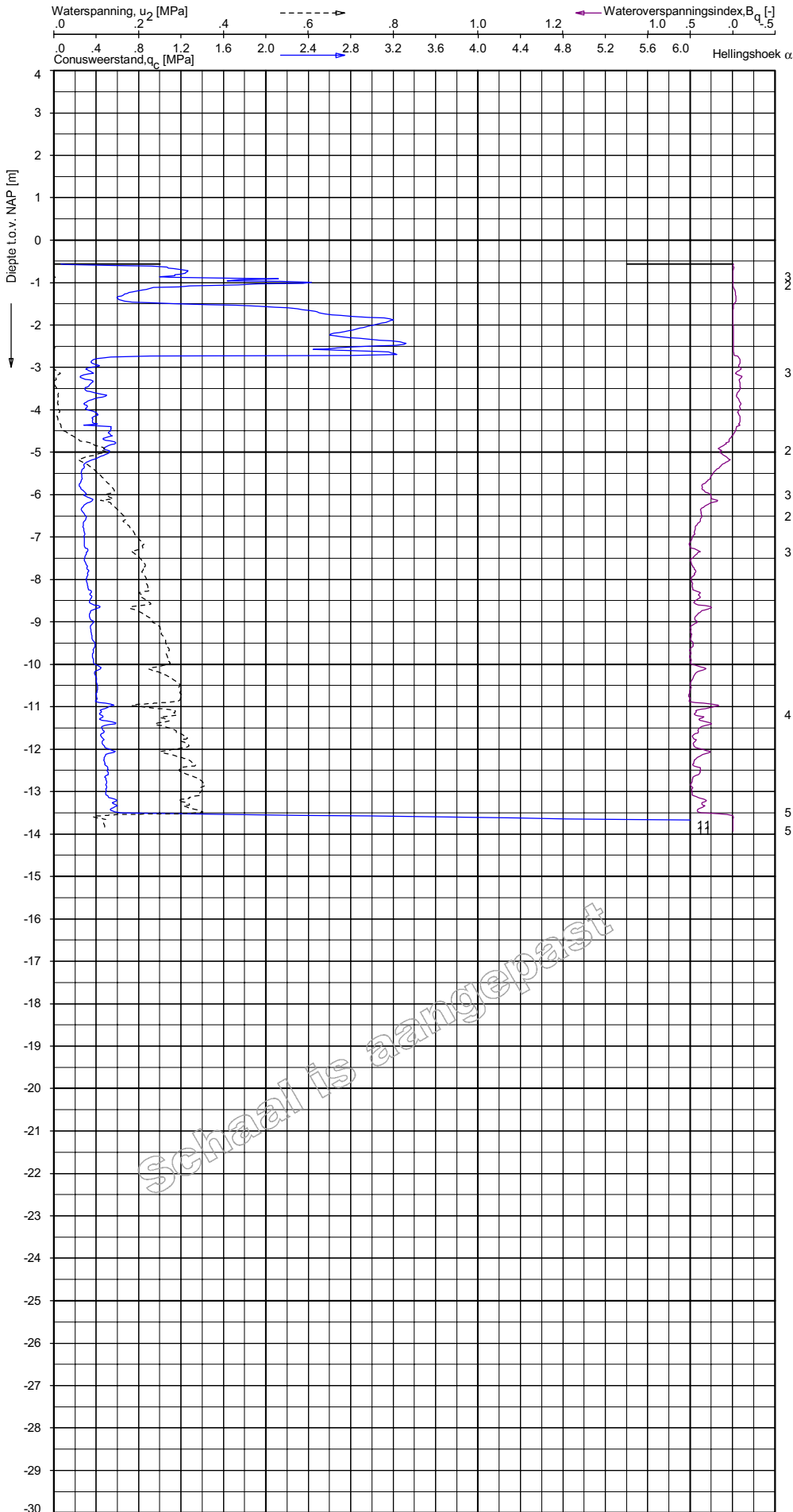
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
Sond. DKMPDIJK23DP64KRUIJN

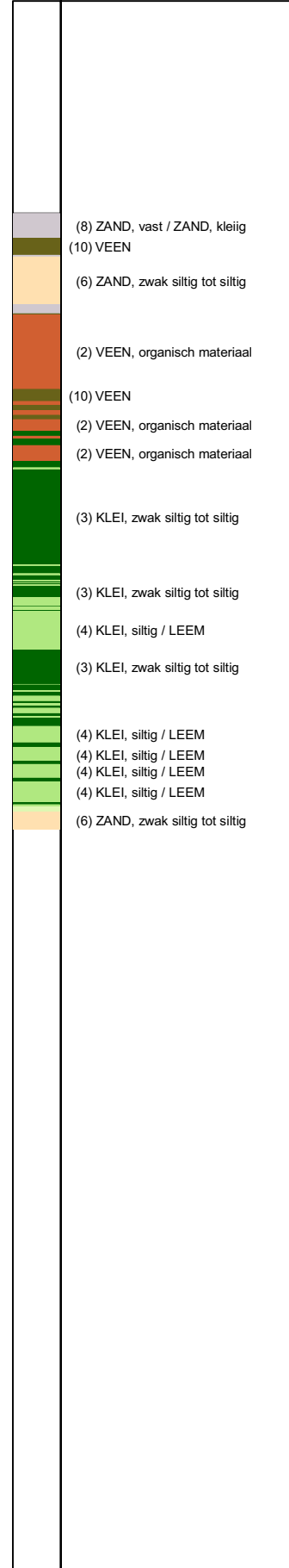
UNIPLOT 05.08.11 / Q:\Uz\class-N3\_6MFA.amf / 2012-03-14 15:09:36

2111-0004-003

DKMPDIJK23DP64BINNENBERM - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Schaal is aangepast

Opg.: JBN d.d. 05-Mar-2012 conus: A15F1.5SKE2HAW\_2/B PK = 131901.7  
 Get.: KOOGERS d.d. 2012-03-14 MV = NAP -0.56 m Y = 507408.6

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

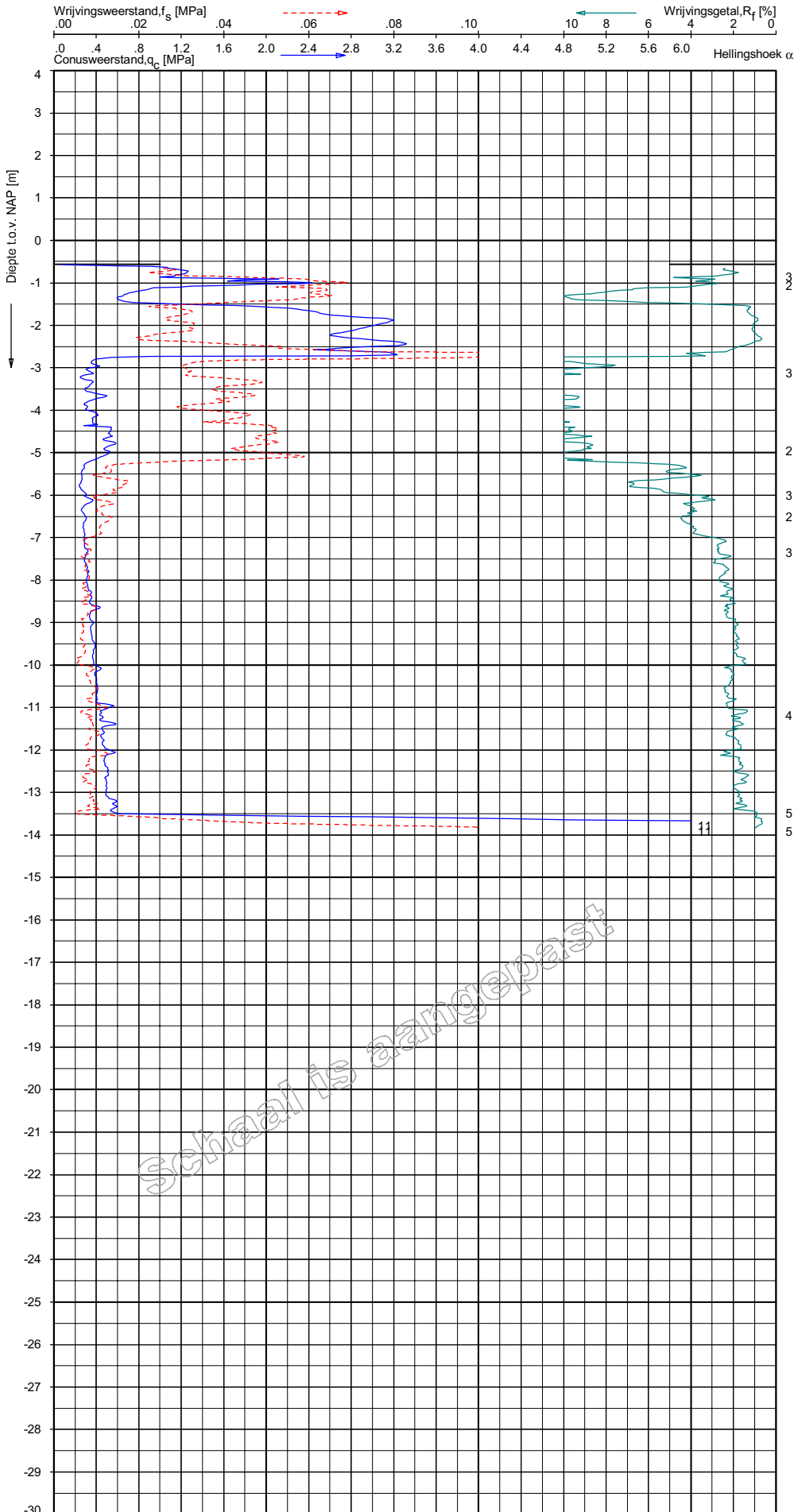
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK23DP64BINNENBERM

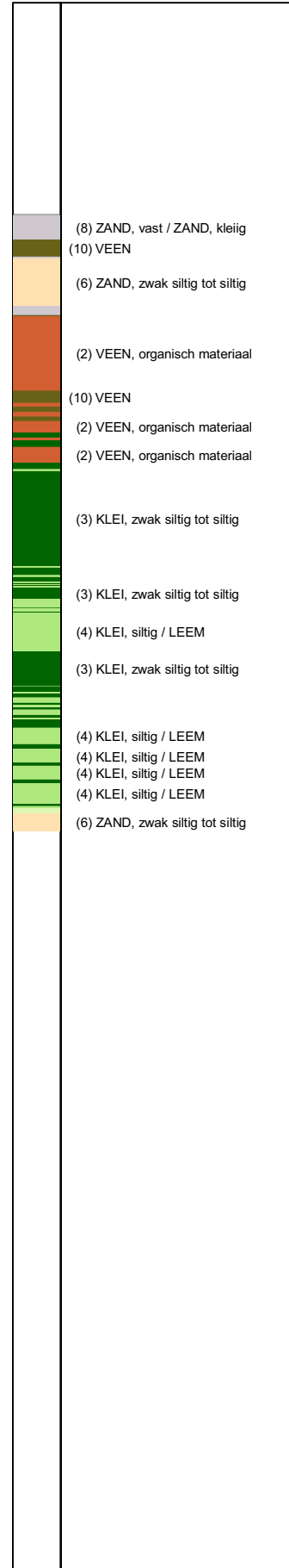
UNIPLOT 05.03.11 / Q:\F\Classens\_GM\Pa.cmf / 2012-03-14 15:08:10

2111-0004-003

DKMPDIJK23DP64BINNENBERM - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 05-Mar-2012 conus: A15F1.5SKE2HAW\_2/B PK = 131901.7  
 Get.: KOOGERS d.d. 2012-03-14 MV = NAP -0.56 m Y = 507408.6

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

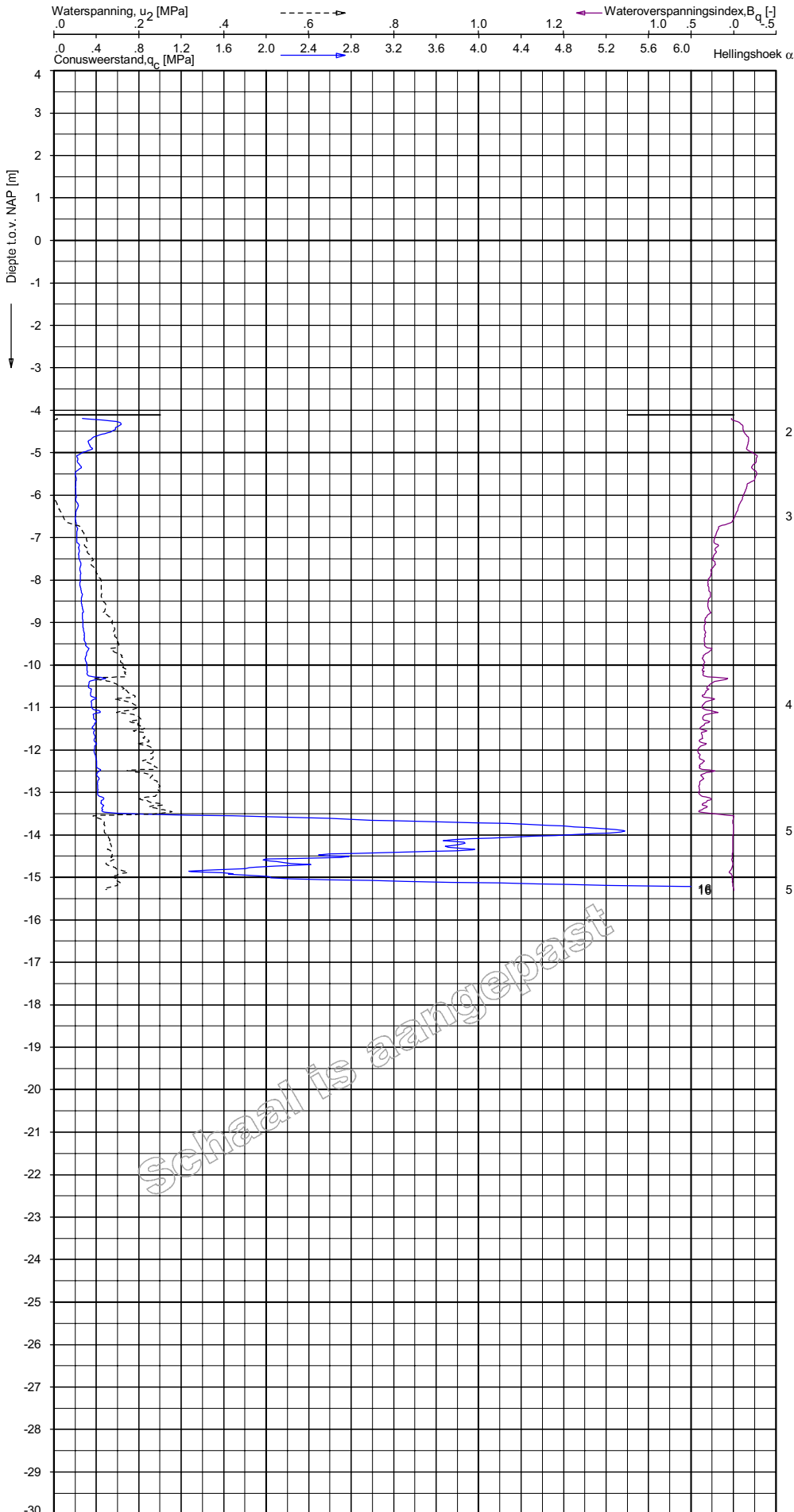
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK23DP64BINNENBERM

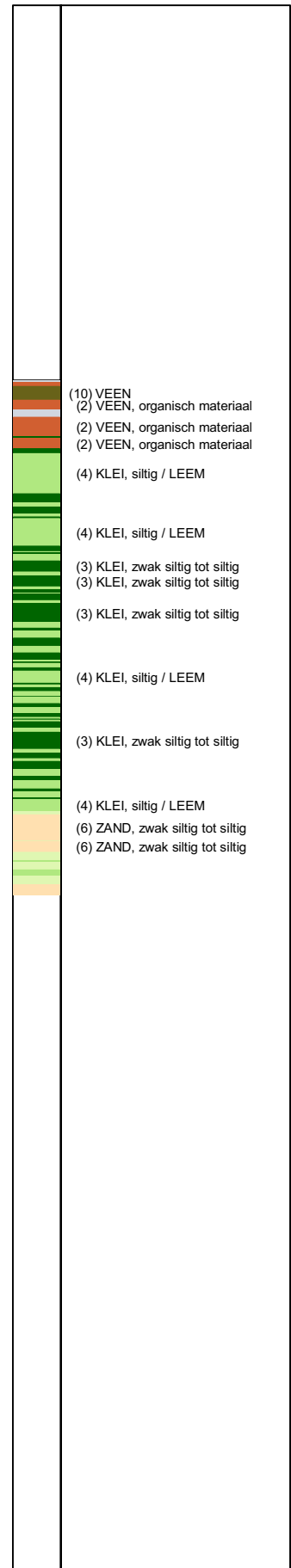
UNIPLOT 05.08.11 / Q:\Uzclass-N3\_6MFA.amf / 2012-03-14 15:09:33

2111-0004-003

DKMPDIJK23DP64ACHTERLAND - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Schaal is aangepast

Opg.: JBN d.d. 05-Mar-2012 conus: A15F1.5CKE2HAW\_2/B FK = 131874.3  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-03-14 MV = NAP -4.11 m Y = 507401.0

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

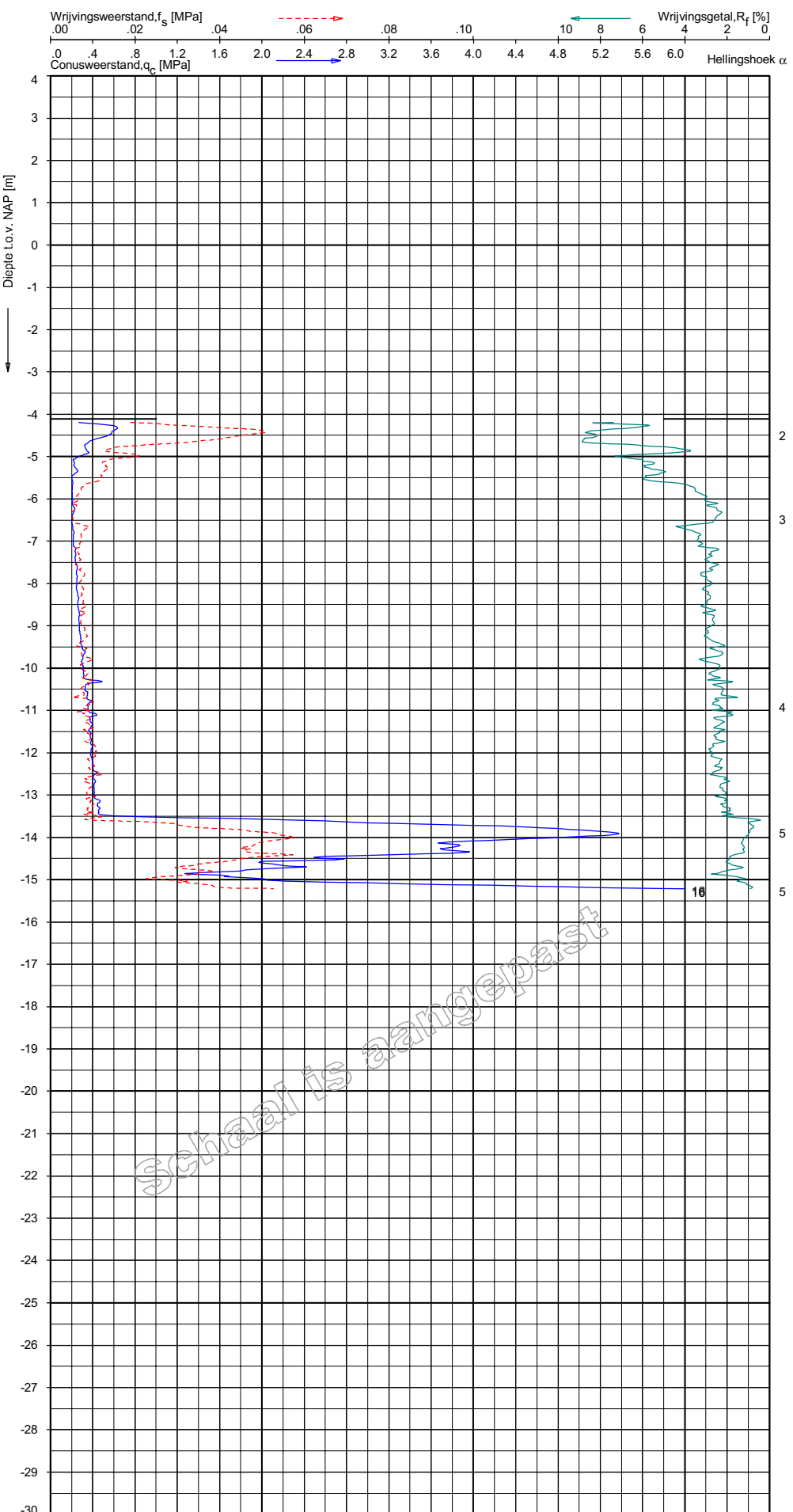
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK23DP64ACHTERLAND

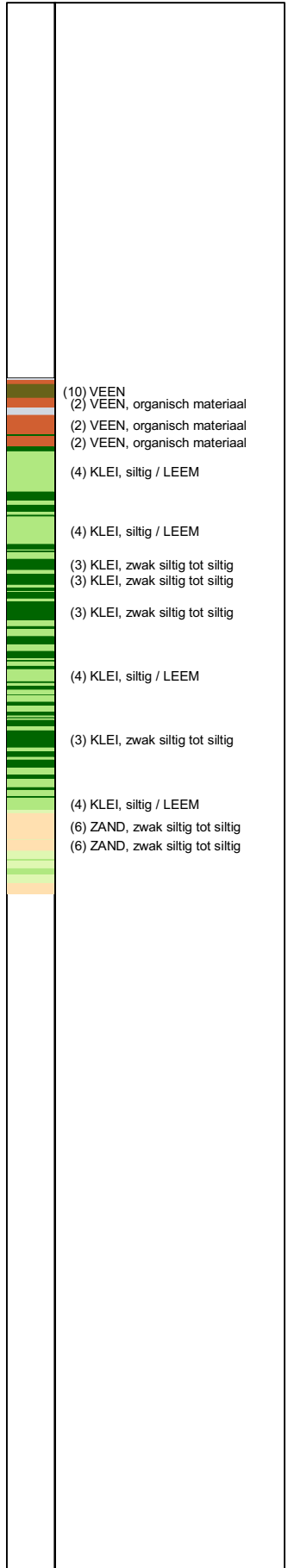
UNIPLOT 05.18.nl / QdFClasses\_NS\_6Mpa.cmf / 2012-03-14 15:08:08

2111-0004-003

DKMPDIJK23DP64ACHTERLAND - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opp.: JBN d.d. 05-Mar-2012 conus: A15F1.5CKE2HAW\_2/B PK = 131874.3  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-03-14 MV = NAP -4.11 m Y = 507401.0  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING

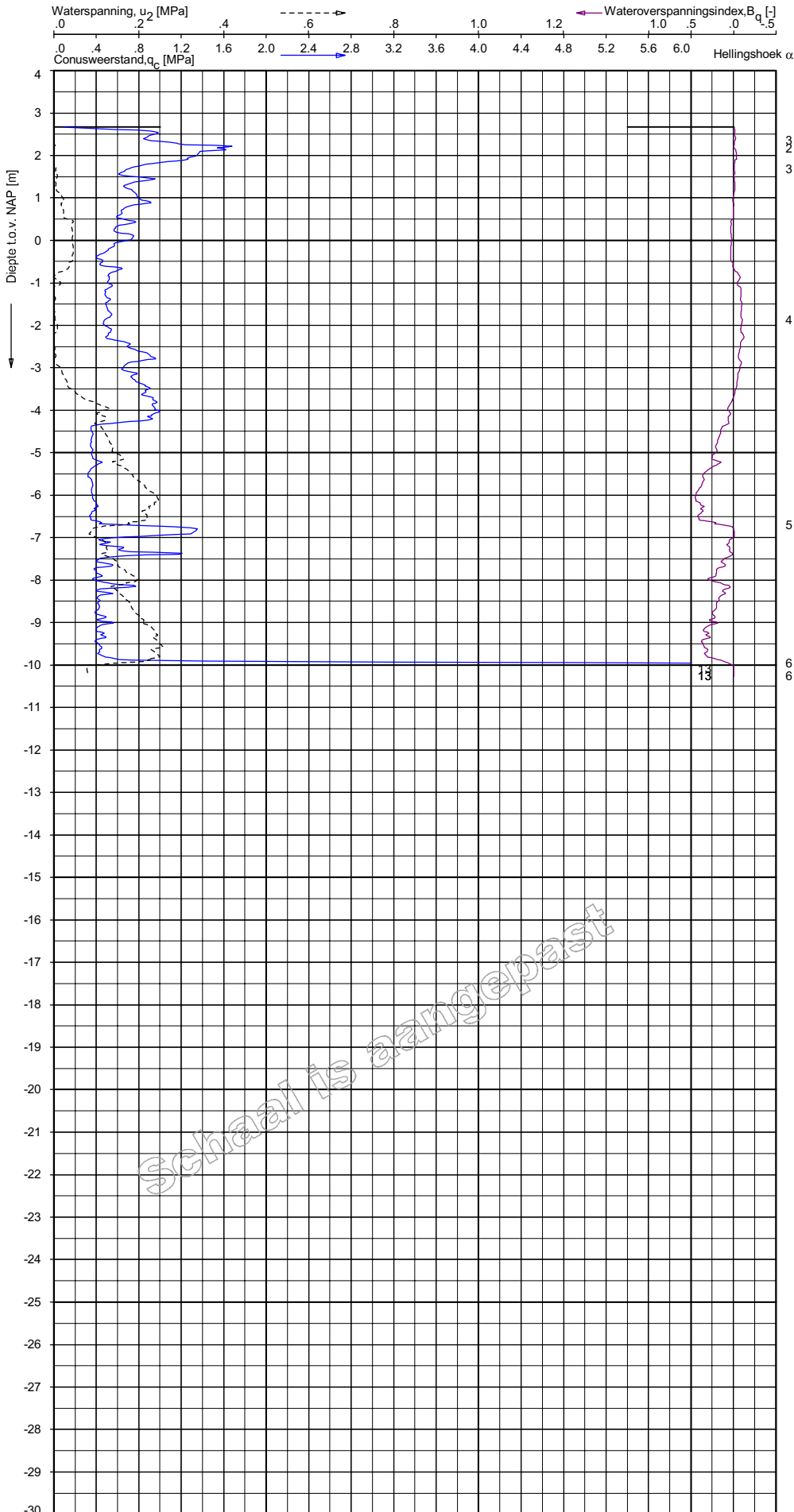
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK23DP64ACHTERLAND

UNIPLOT 05.03.11 / Q:\Z\Class-N3\_6\Mapa.cmf / 2012-03-14 15:09:31

2111-0004-003

DKMPDIJK20DP34KRUIJN - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Schaal is aangepast

Opg.: JBN d.d. 02-Mar-2012 conus: A15F1.5SKE2HAW\_2/B PK = 130390.3  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-03-14 MV = NAP +2.67 m Y = 516242.0

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

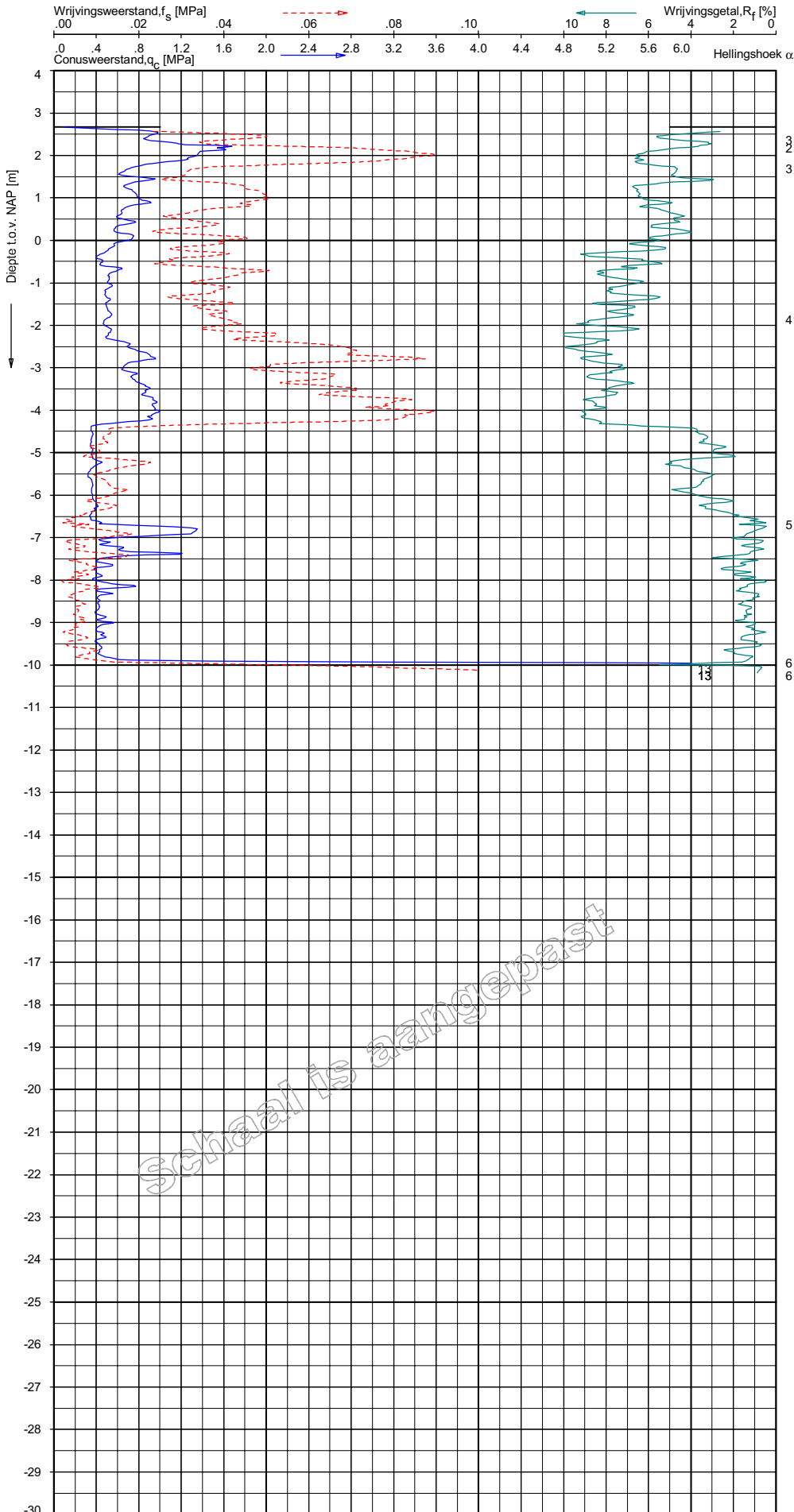
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK20DP34KRUIJN

UNIPLOT 05.03.01 / Qd\Fc\class\NS\_6M\Pa.cmf / 2012-03-14 15:08:05

2111-0004-003

DKMPDIJK20DP34KRUIJN - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opp.: JBN d.d. 02-Mar-2012 conus: A15F1.5SKE2HAW\_2/B PK = 130390.3  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-03-14 MV = NAP +2.67 m Y = 516242.0

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

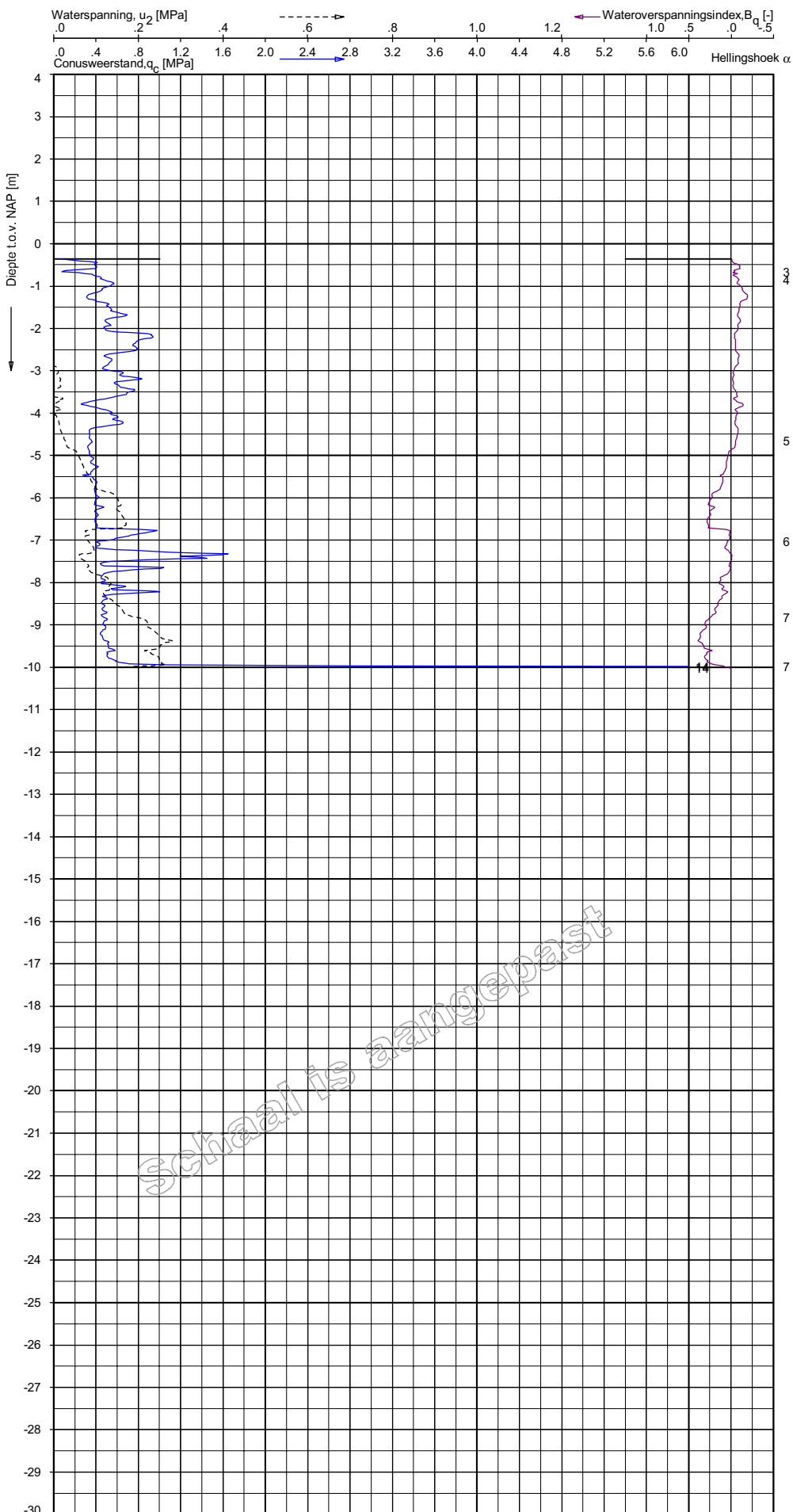
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK20DP34KRUIJN

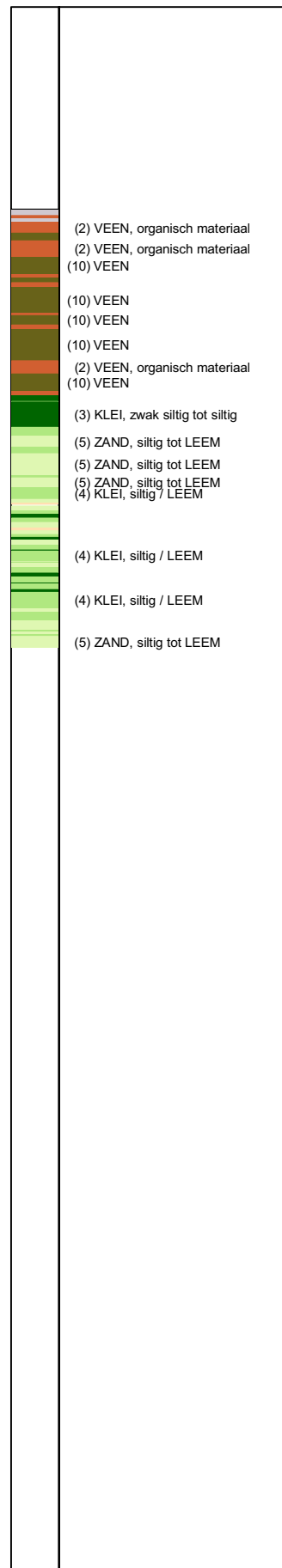
UNIPLOT 05.08.11 / G:\Uzclass-N3\_6Mpa.amf / 2012-03-23 12:37:01

2111-0004-003

DKMPDIJK20DP34BINNENTEEN - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Schaal is aangepast

Opp.: JBN d.d. 14-Mar-2012 conus: A15F1.5SKE2HAW\_2/B FK = 130390.9  
 Get.: BOSCHG d.d. 2012-03-23 MV = NAP -0.37 m Y = 516250.3  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

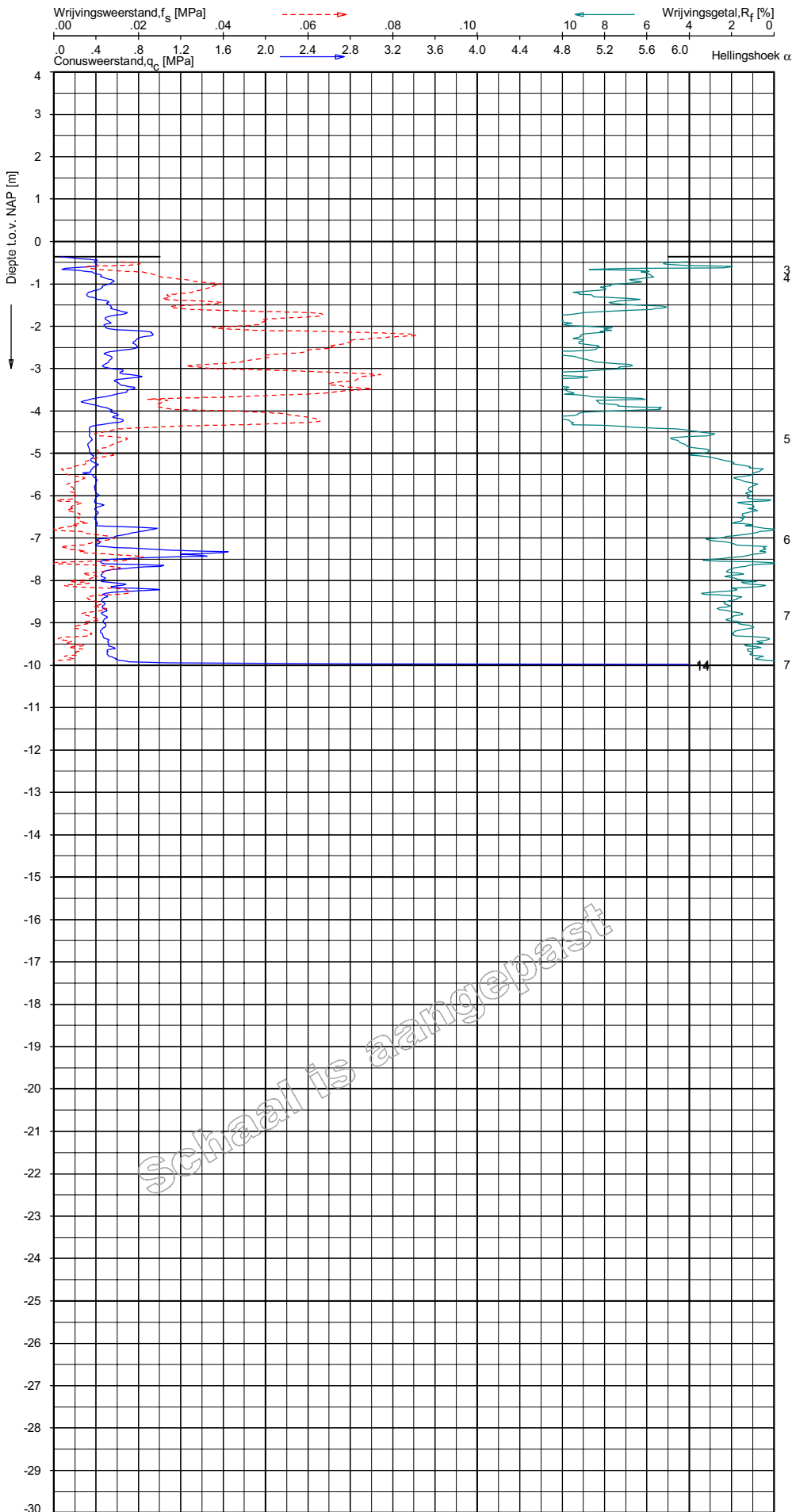
Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK20DP34BINNENTEEN



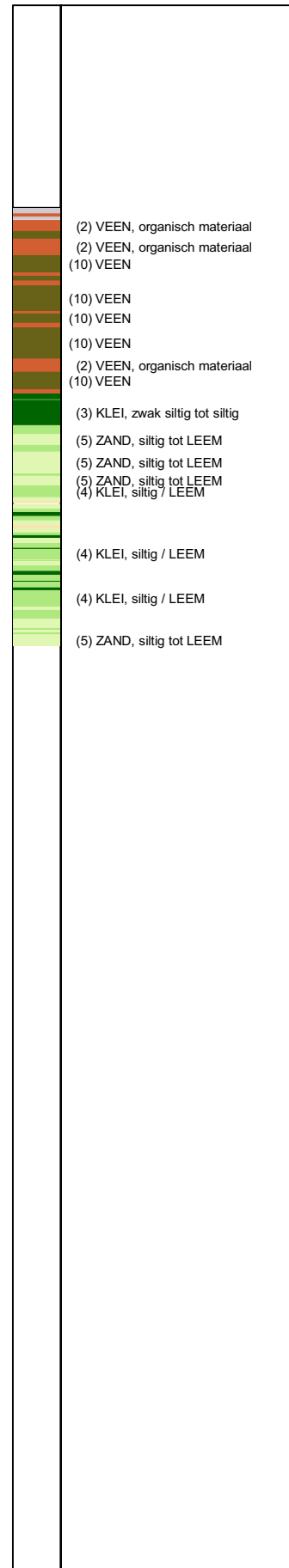
UNIPLOT 05.18.nl / QdF-Claes-NS\_6Mpa.cmf / 2012-03-23 12:31:44

2111-0004-003

DKMPDIJK20DP34BINNENTEEN - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opp.: JBN d.d. 14-Mar-2012 conus: A15F1.5CKE2HAW\_2/B FK = 130390.9  
 Get.: BOSCHG d.d. 2012-03-23 MV = NAP -0.37 m Y = 516250.3

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

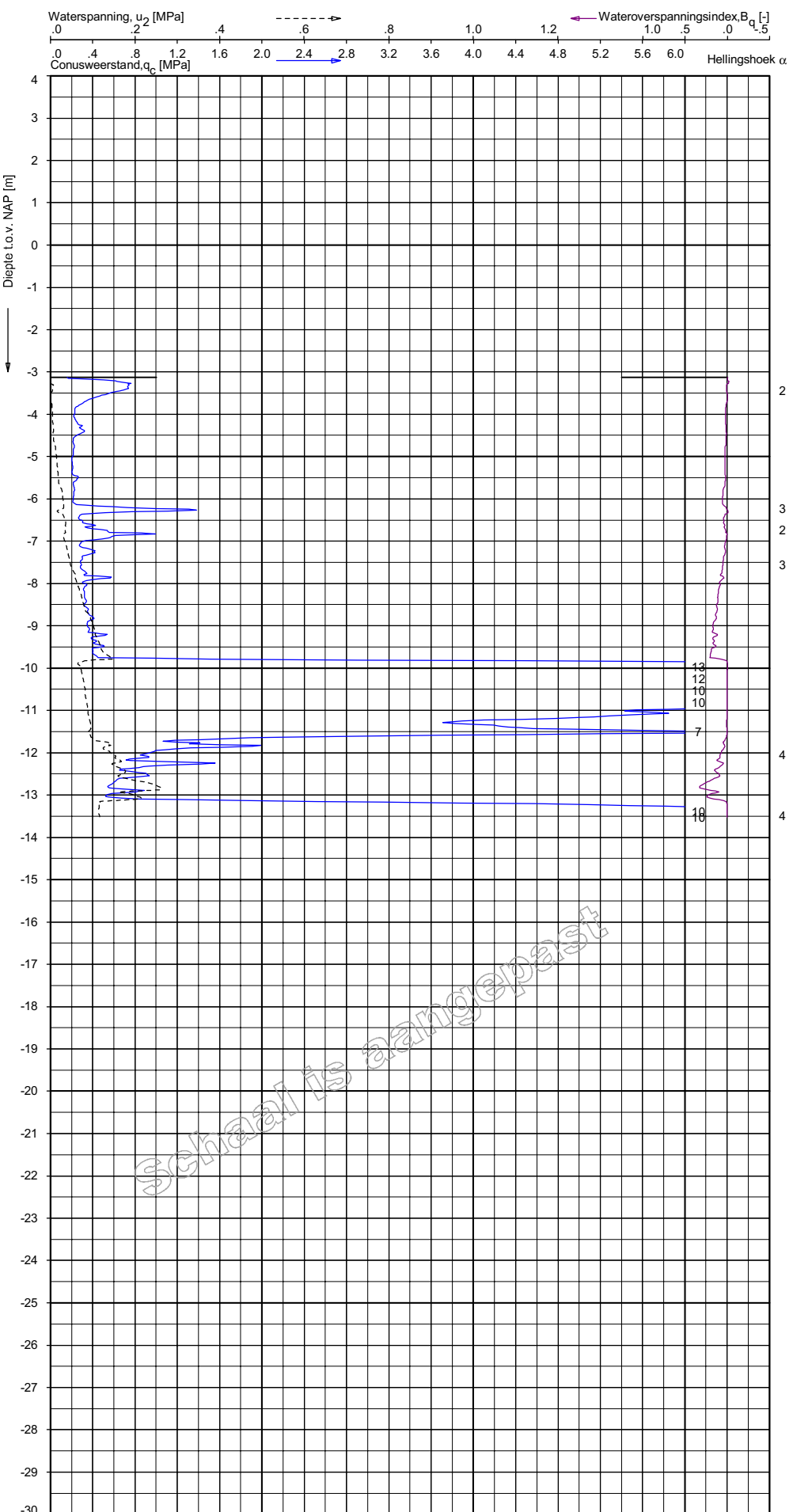
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK20DP34BINNENTEEN

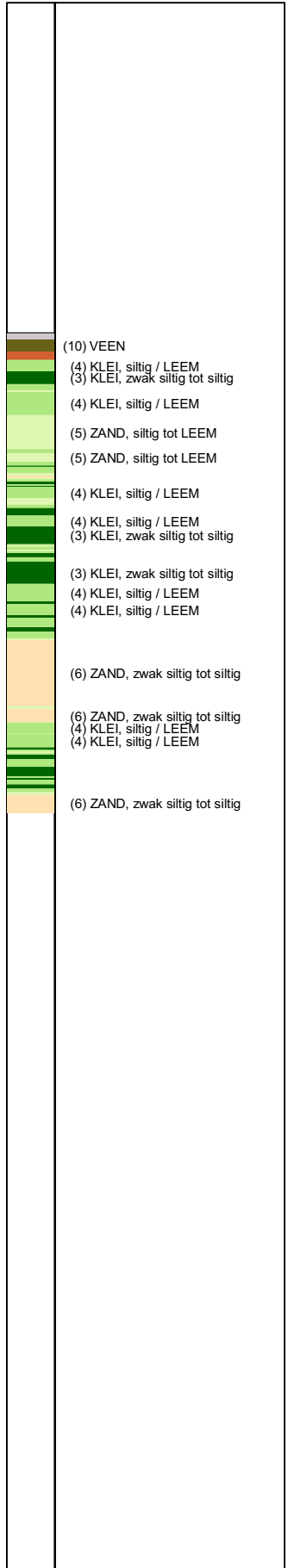
UNIPLOT 05.18.nl / Q:\Uzclass-N3\_6MFA.amf / 2012-03-23 12:38:59

2111-0004-003

DKMPDIJK20DP34ACHTERLAND - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 01-Mar-2012 conus: A15F1.5CKE2HAW\_2/B PK = 130384.1  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-03-14 MV = NAP -3.13 m Y = 516273.9

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

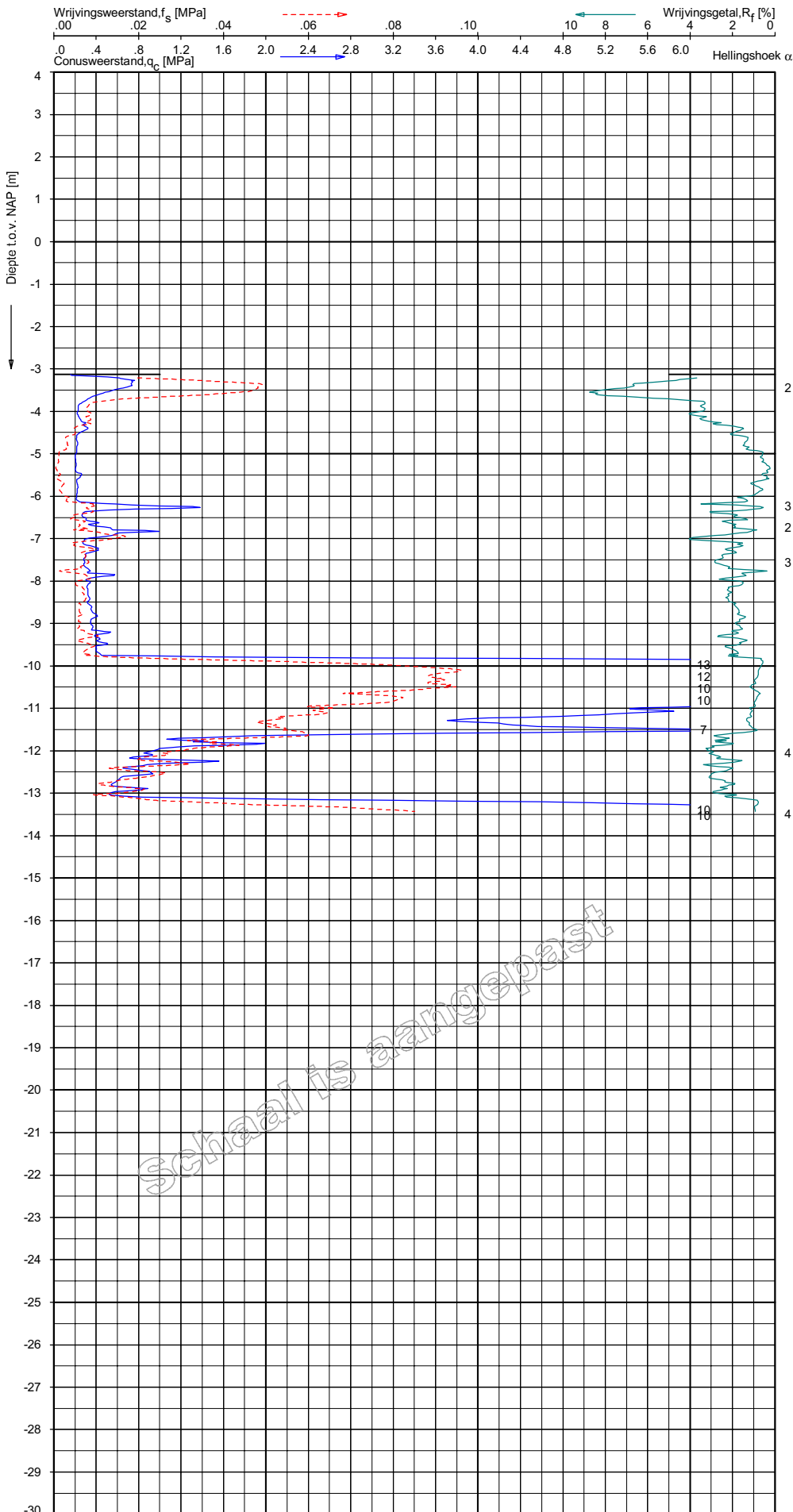
MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK20DP34ACHTERLAND

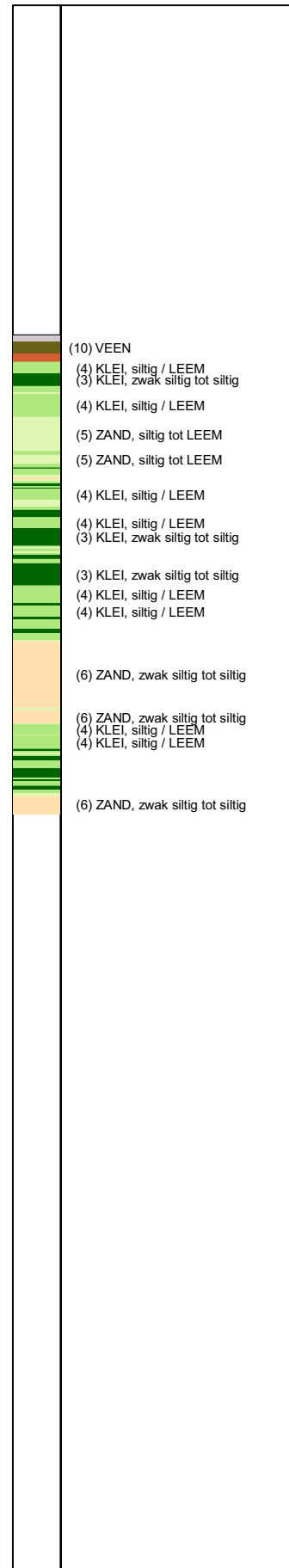
UNIPLOT 05.18.nl / QdFClasses\_NS\_6Mpa.cmf / 2012-03-23 12:31:41

2111-0004-003

DKMPDIJK20DP34ACHTERLAND - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 01-Mar-2012 conus: A15F1.5SKE2HAW\_2/B PK = 130384.1  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-03-14 MV = NAP -3.13 m Y = 516273.9

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



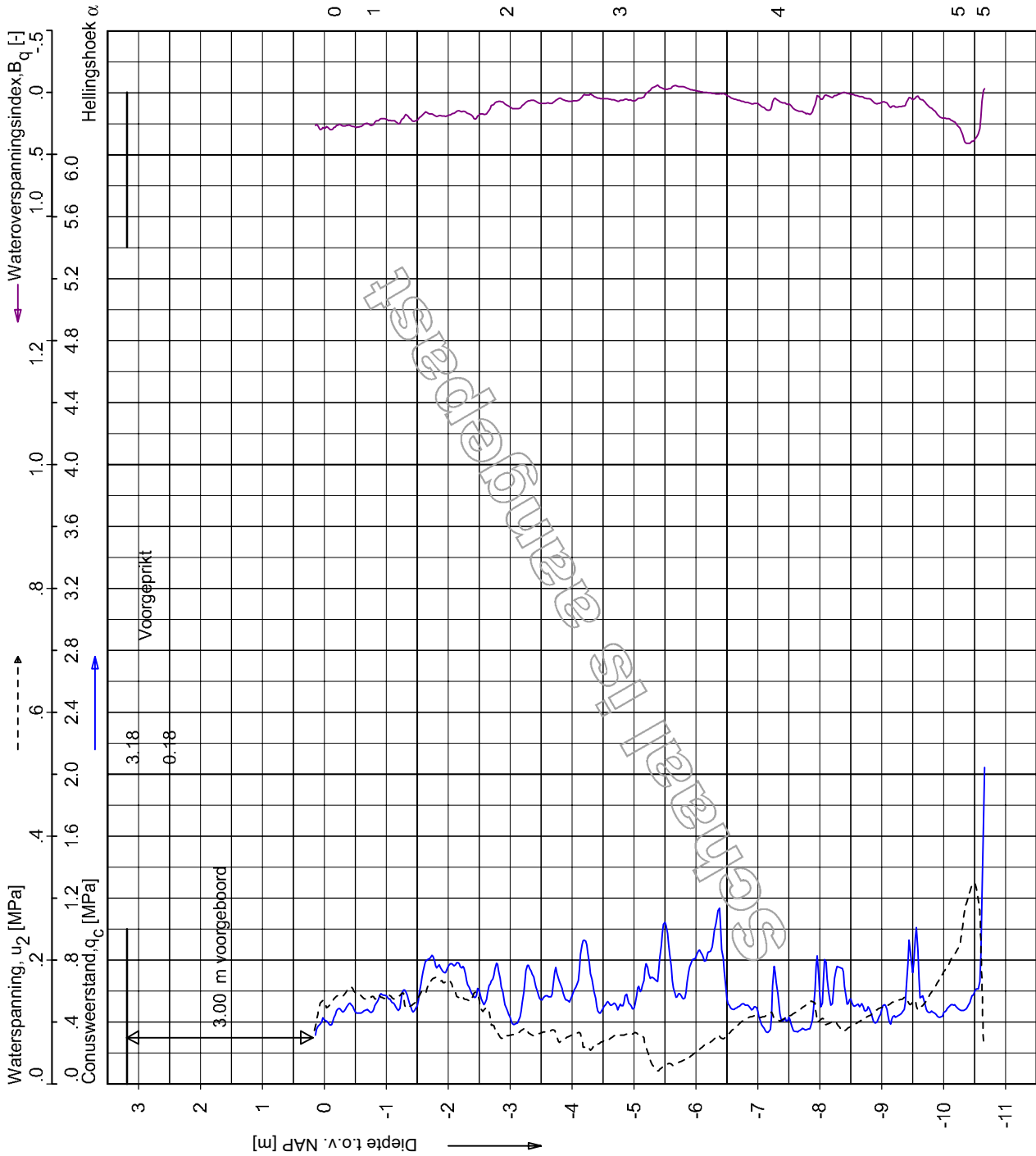
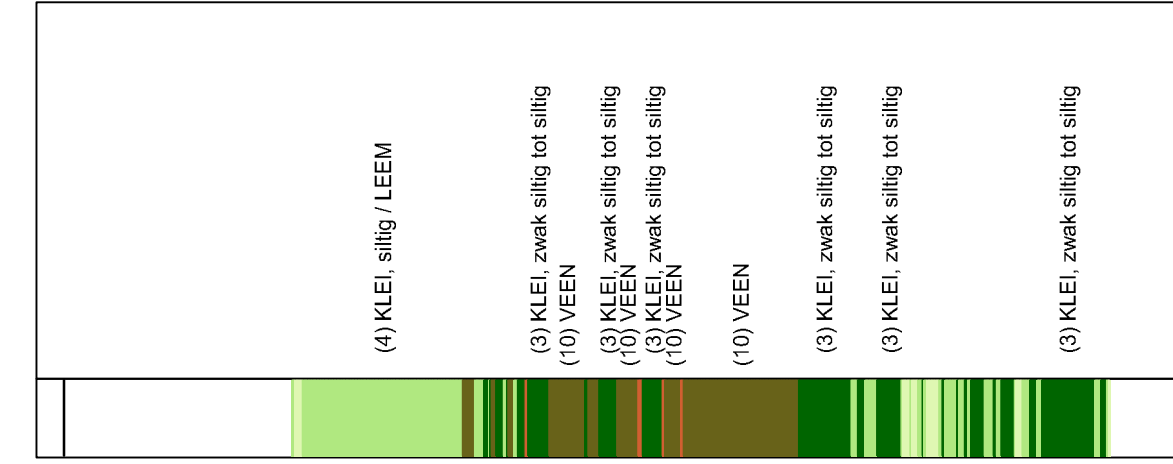
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

MARKERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr. 2111-0004-003  
 Sond. DKMPDIJK20DP34ACHTERLAND

**Indicatieve bodembeschrijving**

Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



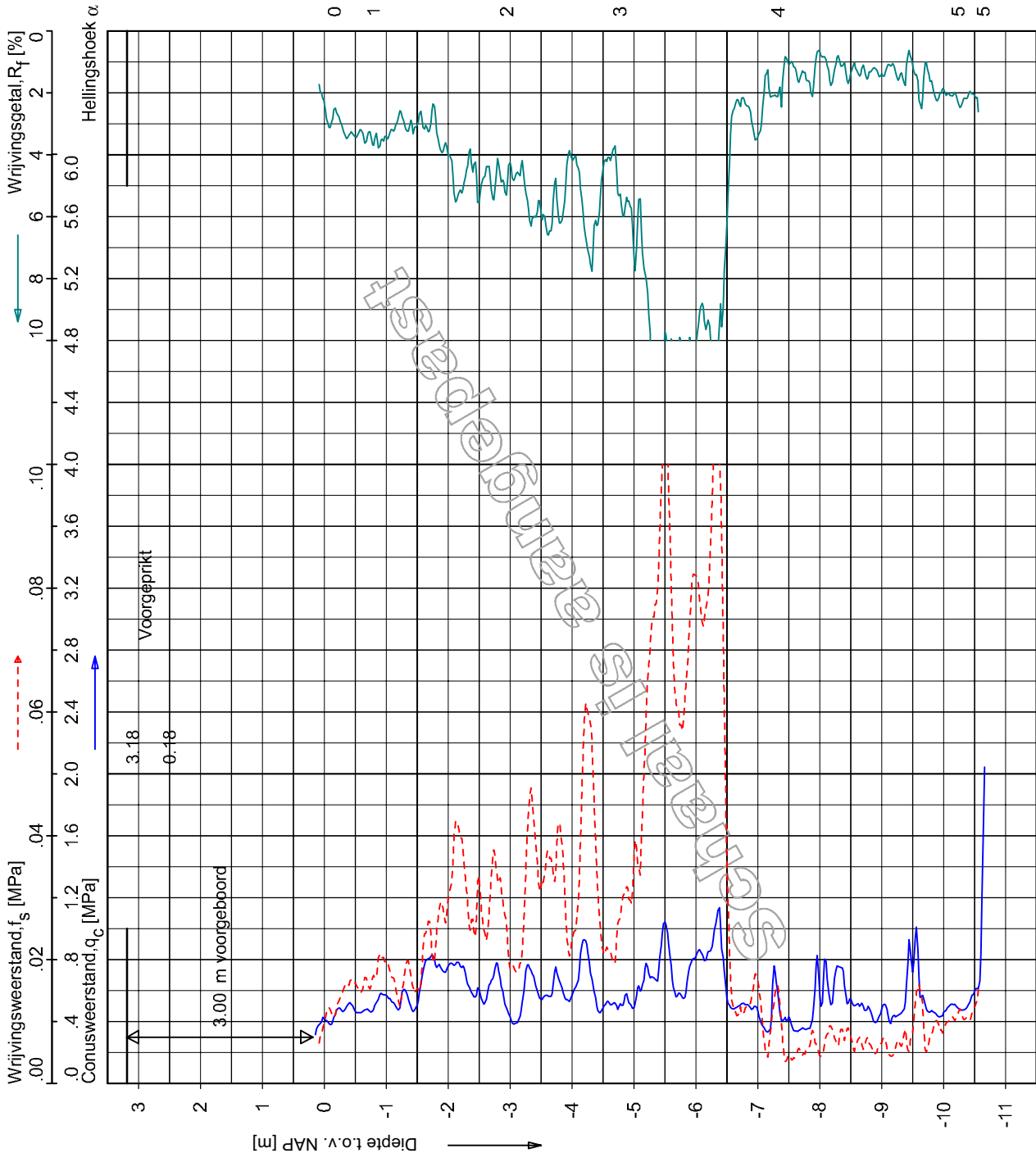
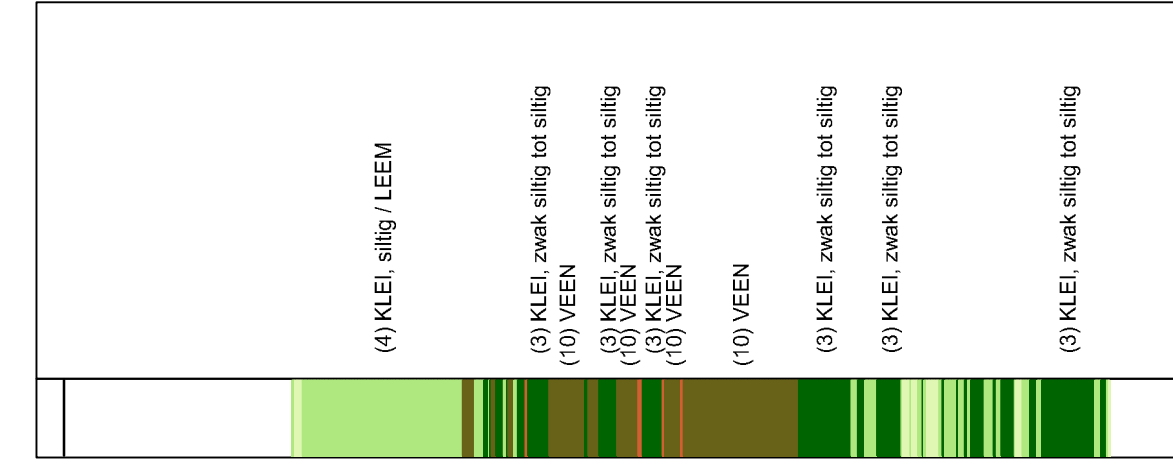
Opg.: JBN d.d. 15-Maj-2012  
 Get.: BOSCHG d.d. 2012-05-21  
 conus: A15F1.5CKEZHAW-2/B PX = 133627.5  
 MV = NAP +3.18 m Y = 492886.8  
**TUGRO**  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.

**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

MARKERMEERDIJK PROEF 4 EN 5

Opdr. 2111-0004-008  
 Sond. DKMP71-4K kruin

**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data  
 van de sondering, geldig onder  
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 15-Maj-2012 conus : A15F1.5CKEZHAW-2/B PX = 133627.5  
 Get.: BOSCHG d.d. 2012-05-21 MV = NAP +3.18 m Y = 492886.8

**TUGRO**  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.

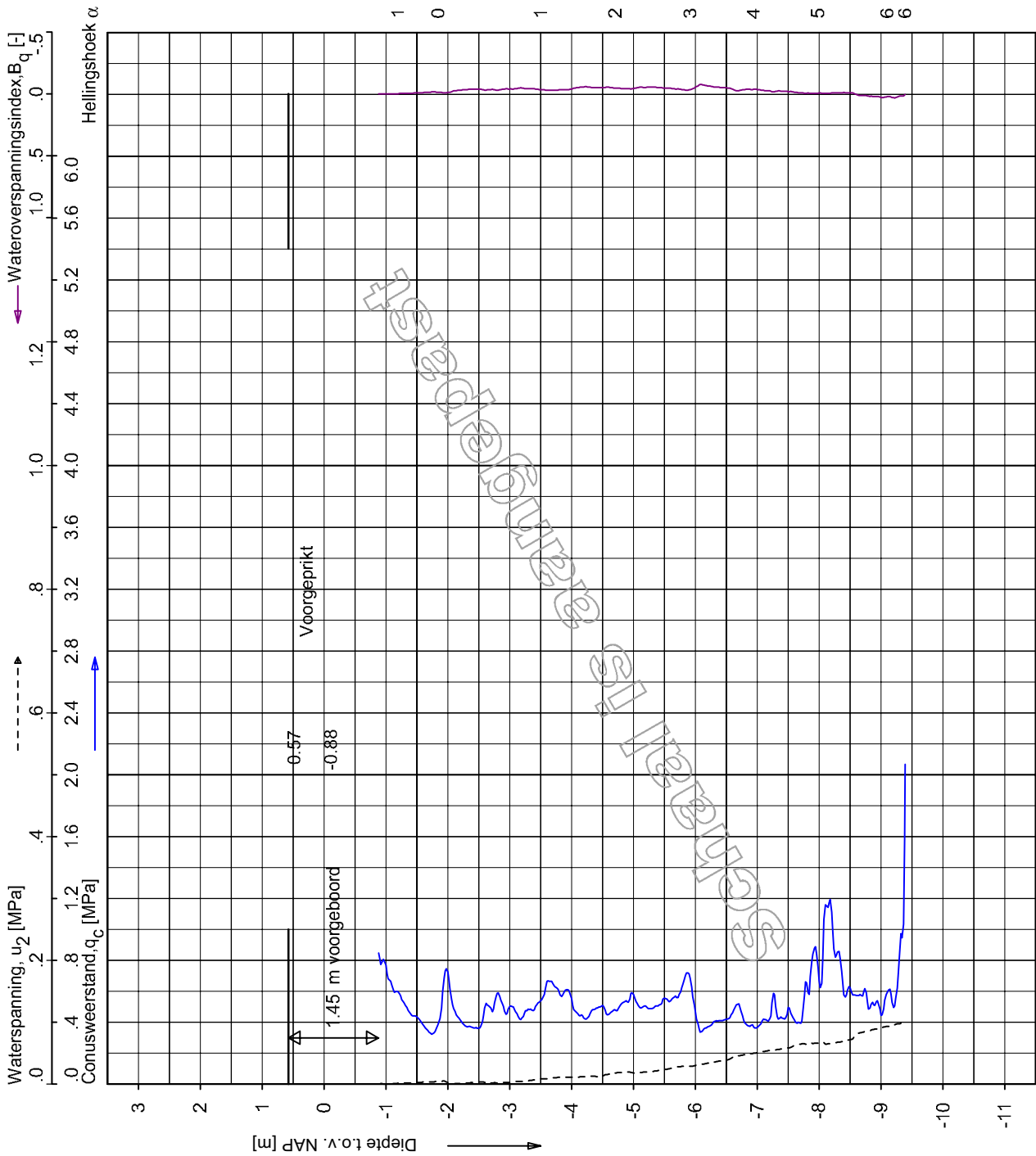
**SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING**

MARKERMEERDIJK PROEF 4 EN 5

Opdr. 2111-0004-008  
 Sond. DKMP71-4K kruin

**Indicatieve bodembeschrijving**

Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 08-Maj-2012 conus : A15F1.5CKEZHAW\_2/B PX = 133619.6  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-05-16 MV = NAP +0.57 m Y = 492887.6

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.

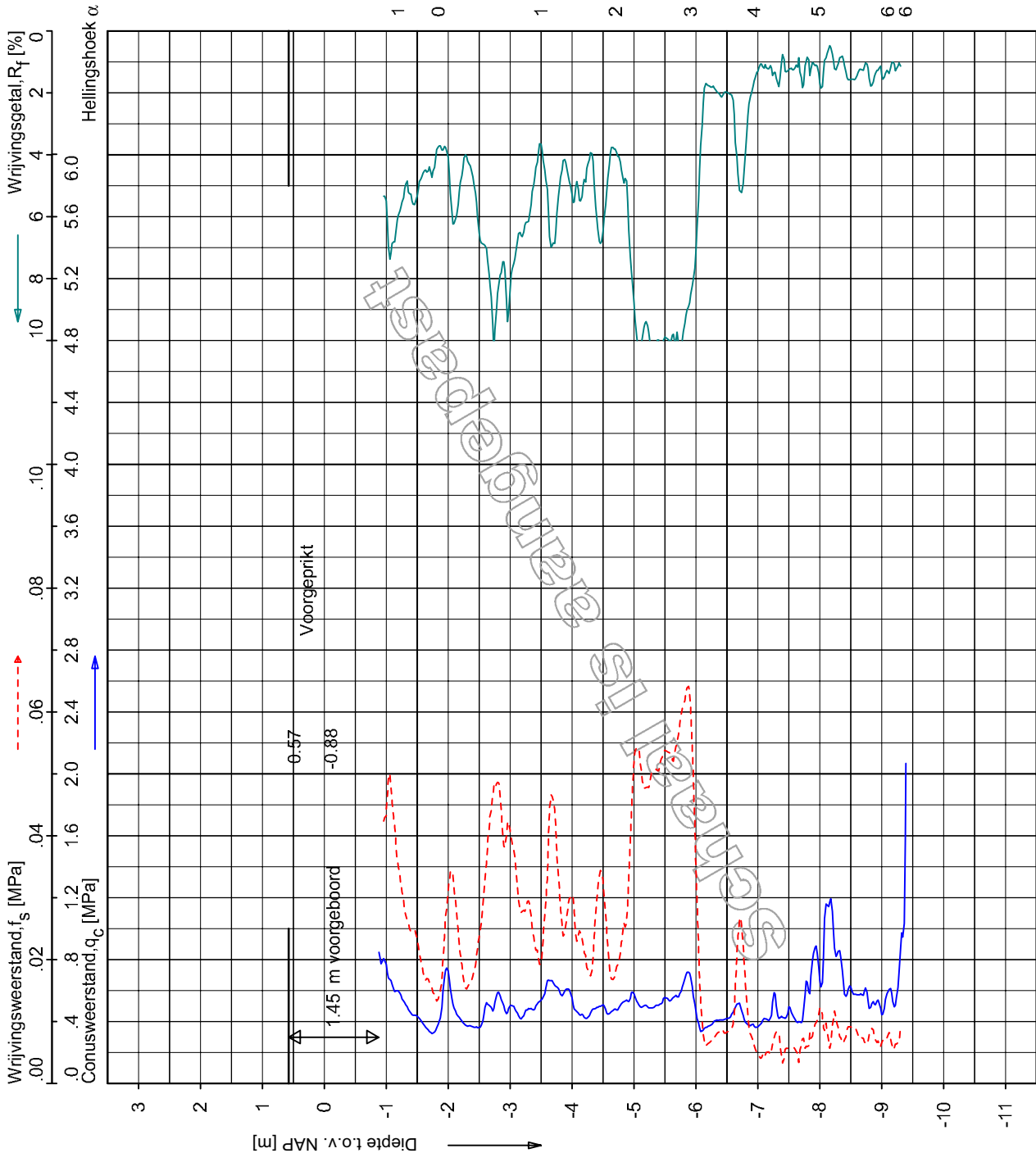
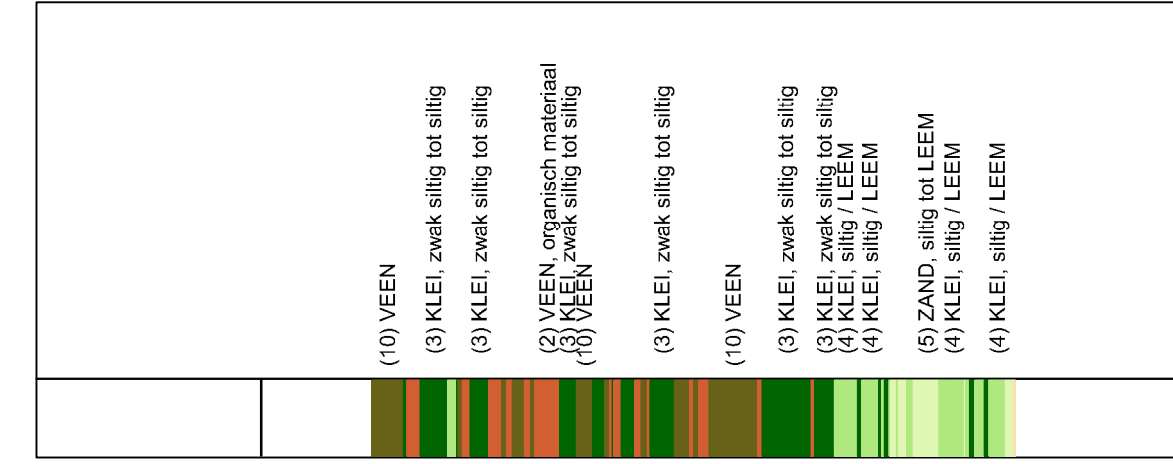
**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

MARKERMEERDIJK PROEF 4 EN 5

Opdr. 2111-0004-008  
 Sond. DKMP71-4B teen

**Indicatieve bodembeschrijving**

Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 08-Maj-2012 conus : A15F1.5CKEZHAW\_2/B PX = 133619.6  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-05-16 MV = NAP +0.57 m Y = 492887.6

**TUGRO**  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.

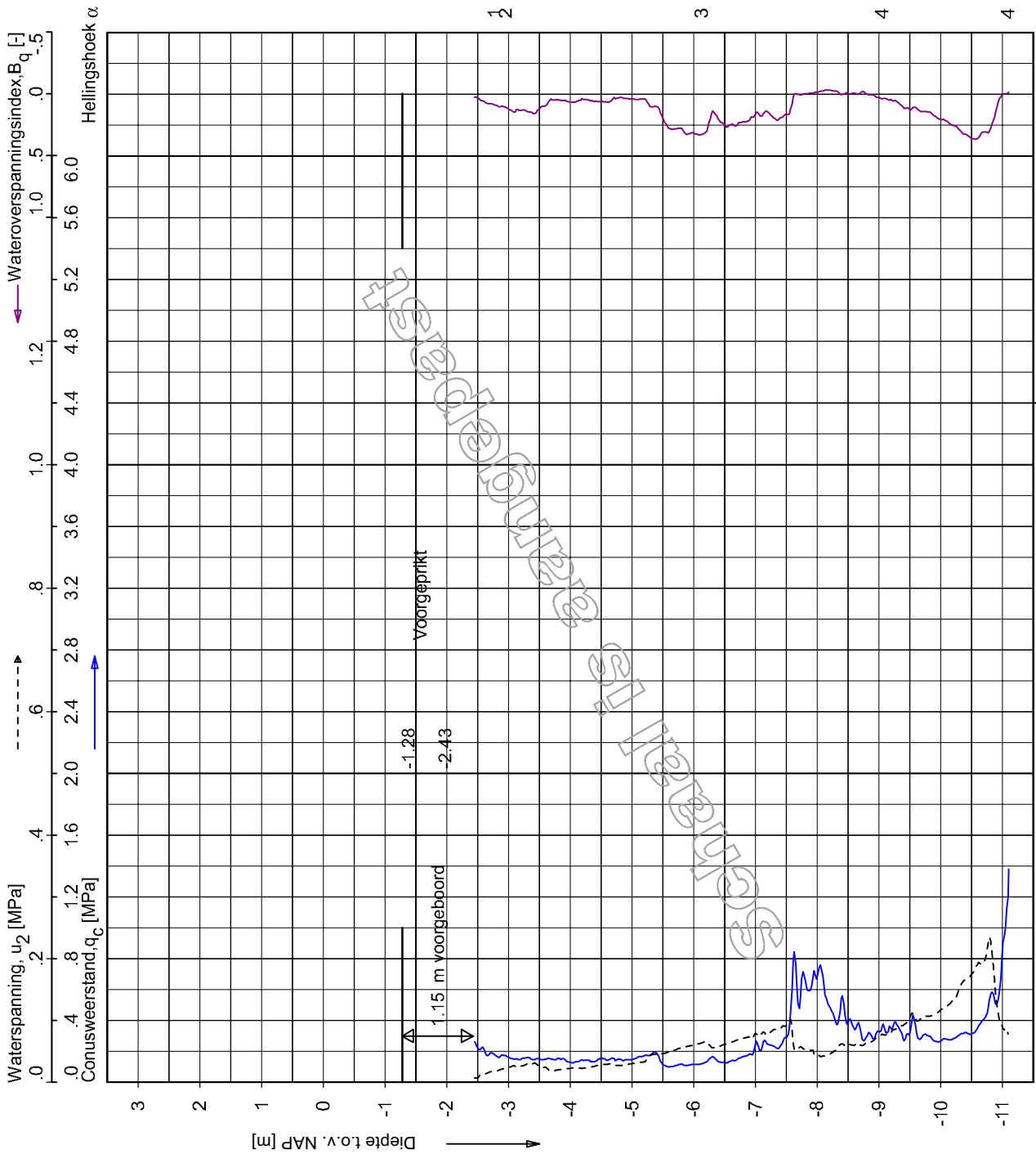
**SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING**

MARKERMEERDIJK PROEF 4 EN 5

Opdr. 2111-0004-008  
 Sond. DKMP71-4B teen

**Indicatieve bodembeschrijving**

Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 08-Maj-2012 conus : A15F1.5CKEZHAW-2/B PX = 133595.0  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-05-16 MV = NAP -1.28 m Y = 492883.9  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.

**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

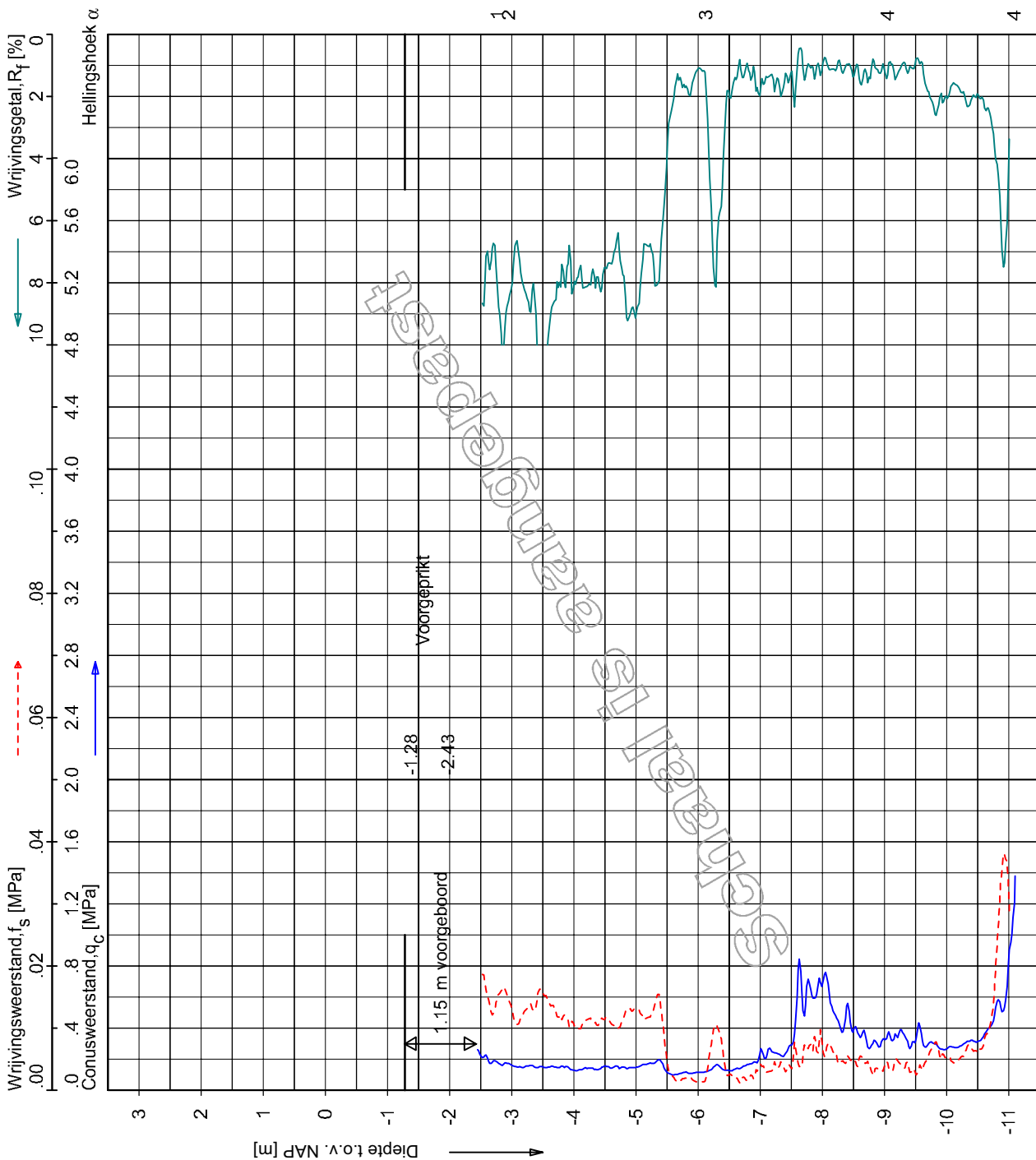
MARKERMEERDIJK PROEF 4 EN 5

Opdr. 2111-0004-008  
 Sond. DKMP71-4A achterland



**Indicatieve bodembeschrijving**

Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg.: JBN d.d. 08-Maj-2012 conus : A15F1.5CKEZHAW-2/B PX = 133595.0  
 Get.: LEEUWEST d.d. 2012-05-16 MV = NAP -1.28 m Y = 492883.9  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSSELIJKE KLEEFMETING**

MARKERMEERDIJK PROEF 4 EN 5

Opdr. 2111-0004-008  
 Sond. DKMP71-4A achterland

# Veldregistratie Begemann boring

Datum:	14-3-2012	Plaats:	Markermeerdijk 1203768,012	blad:	1		
Naam:	JBN	Projectnummer:	2111-0004-003				
Voertuig:	Rups 12	Boring nr. :	B03dijk28dp134achterland	Gevraagde boor			
MV - NAP	0,983 m -	Diameter gestoken monster (mm):	65	diepte (m):			
X =	130010,61	Steekmond: normaal	vlak	zand			
Y =	488903,29	Aflezing	Hoeveelheid	Spleet volume			
Diepte - MV of bodem		unster (gr.)	steunvloeistof (cm <sup>3</sup> )	na oplengen			
van	tot	eind	kop	spleet	Ja	Nee	Soort
0.00	0.70	2000	500	1000		X	1.05
0.70	1.70	1000		2000	X		1.4
1.70	2.70	1000		1400	X		1.4
2.70	3.70	1000		1400	X		1.6
3.70	4.70	1000		1400	X		1.6
4.70	5.70	1000		1400	X		1.6
5.70	6.70	1000		1400	X		1.6
6.70	7.70	1000		1400	X		1.6
7.70	8.70	1000		1400	X		1.8
8.70	9.70	1000		1400	X		1.8
9.70	10.70	1000		1400	X		1.8
10.70	11.70	2000		1400	X		1.8
11.70	12.00	8000		1400	X		1.8
Dopdoos nrs. van boven tot onder	Monsternr. Lab	Dopdoos nrs. van boven tot onder	Monsternr. Lab	Steekweigering (diepte, reden, grondslag):			
1	54	11	10033				
2	267	12	10070	einde boring = onderkant steekmond (m): 12.00			
3	295	13		diepte putje of blindgestoken tot (m): 0.00			
4	321	14		gestoken lengte (m): 12.00			
5	330	15		afstand afsluiter tot onderk. steekmond (m): 0.99			
6	542	16		theoretisch monsterlengte (m): 11.01			
7	584	17		in afsluiterbuis (m): 0.26			
8	683	18		volle PVC buizen (m): 10.00			
9	751	19		in bovenste buis (m): 0.48			
10	10014	20		totaal gestoken lengte (m): 10.74			
				steekverlies (m): 0.27			
Controle rondheid steekmond:		oke		Gemeten kousbreedte (mm):		100	
Controle kousenbuis:		oke		Kwaliteit kous:		oke	

















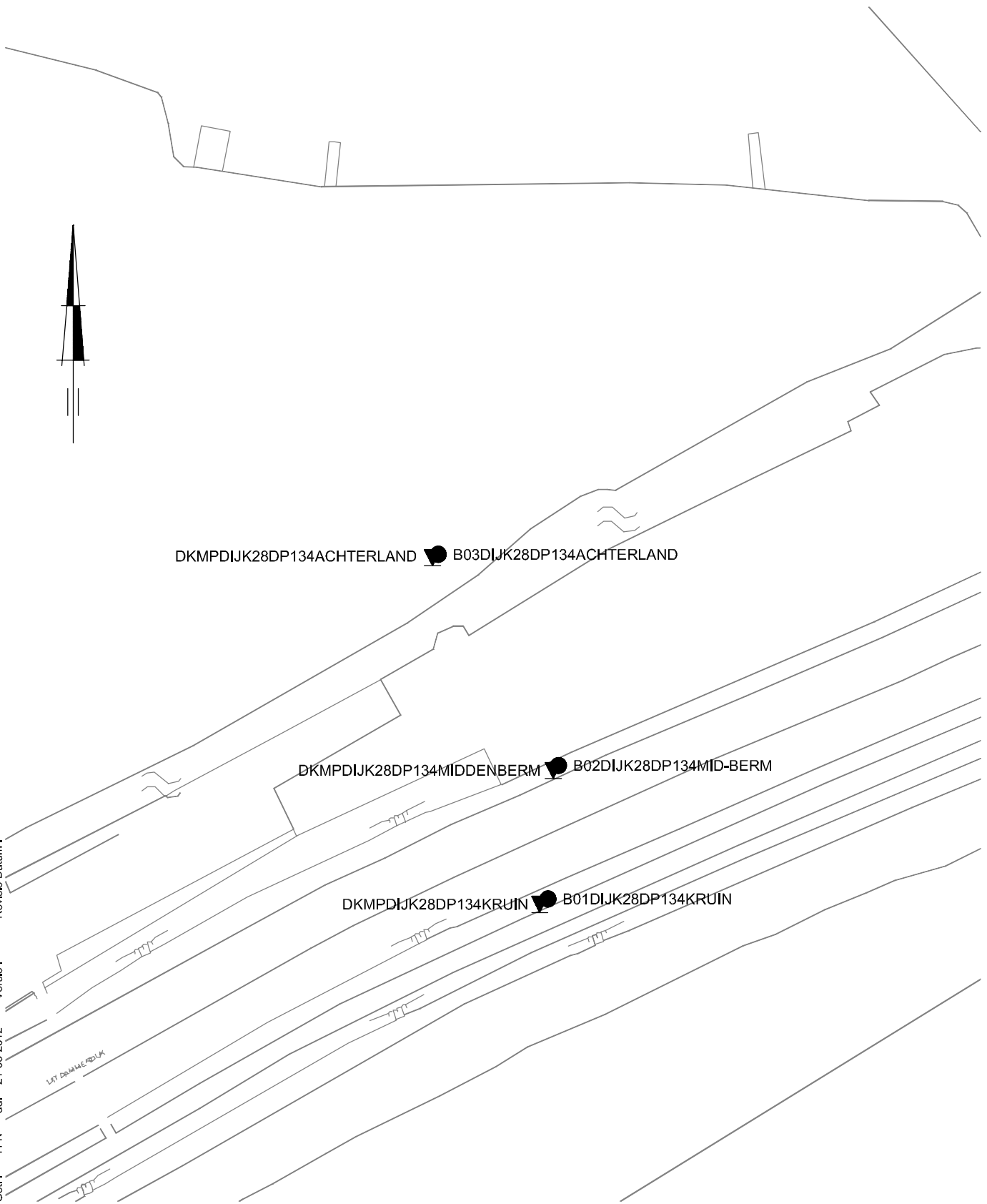


## Veldregistratie Begemann boring

Datum:	7-3-2012		Plaats:	Markermeer 1203768,012		blad:	1	
Naam:	JBN		Projectnummer:	2111-0004-003				
Voertuig:			Boring nr. :	B01dijk23dp64kruin		Gevraagde boor diepte (m): <b>zand</b>		
MV - NAP			Diameter gestoken monster (mm):	65				
X =			Steekmond:	normaal	vlak			
Y =			Aflezing	Hoeveelheid		Spleet volume		Soort
Diepte - MV of bodem	unster (gr.)		steunvloeistof (cm <sup>3</sup> )		na oplengen		steunvloeistof en opmerkingen	
van	tot	eind	kop	spleet	Ja	Nee		
0.00	0.80	2000	500	1000		X	1.05	
0.80	1.80	2000		2000	X		1.4	
1.80	2.80	2000		1400	X		1.4	
2.80	3.80	2000		1400	X		1.4	
3.80	4.80	2000		1400	X		1.6	
4.80	5.80	3000		1400	X		1.6	
5.80	6.80	3000		1400	X		1.6	
6.80	7.80	3000		1400	X		1.6	
7.90	8.80	3000		1400	X		1.6	
8.80	9.80	3000		1400	X		1.8	
9.80	10.40	12000		1400	X		1.8	
Dopdoos		Monsternr.	Dopdoos	Monsternr.	Steekweigering (diepte, reden, grondslag):			
nrs. van boven		Lab	nrs. van boven	Lab	<b>Kous vast</b>			
tot onder			tot onder					
1	1124		11	22592				
2	22010		12		einde boring = onderkant steekmond (m):		10.40	
3	22061		13		diepte putje of blindgestoken tot (m):		0.00	
4	22069		14		gestoken lengte (m):		10.40	
5	22071		15		afstand afsluiter tot onderk. steekmond (m):		0.99	
6	22074		16		theoretisch monsterlengte (m):		9.41	
7	22075		17		in afsluiterbuis (m):		0.26	
8	22085		18		volle PVC buizen (m):		9.00	
9	22096		19		in bovenste buis (m):		0.03	
10	22401		20		totaal gestoken lengte (m):		9.29	
					steekverlies (m):		0.12	
Controle rondheid steekmond:			oke		Gemeten kousbreedte (mm):		100	
Controle kousenbuis:			oke		Kwaliteit kous:		oke	



F:\Veldwerk\2111-0004-003\Acad\2111-0004-003-1 tm 4.dwg  
Get.: YFN  
dd: 21-03-2012  
Versie:  
Revisie Datum:

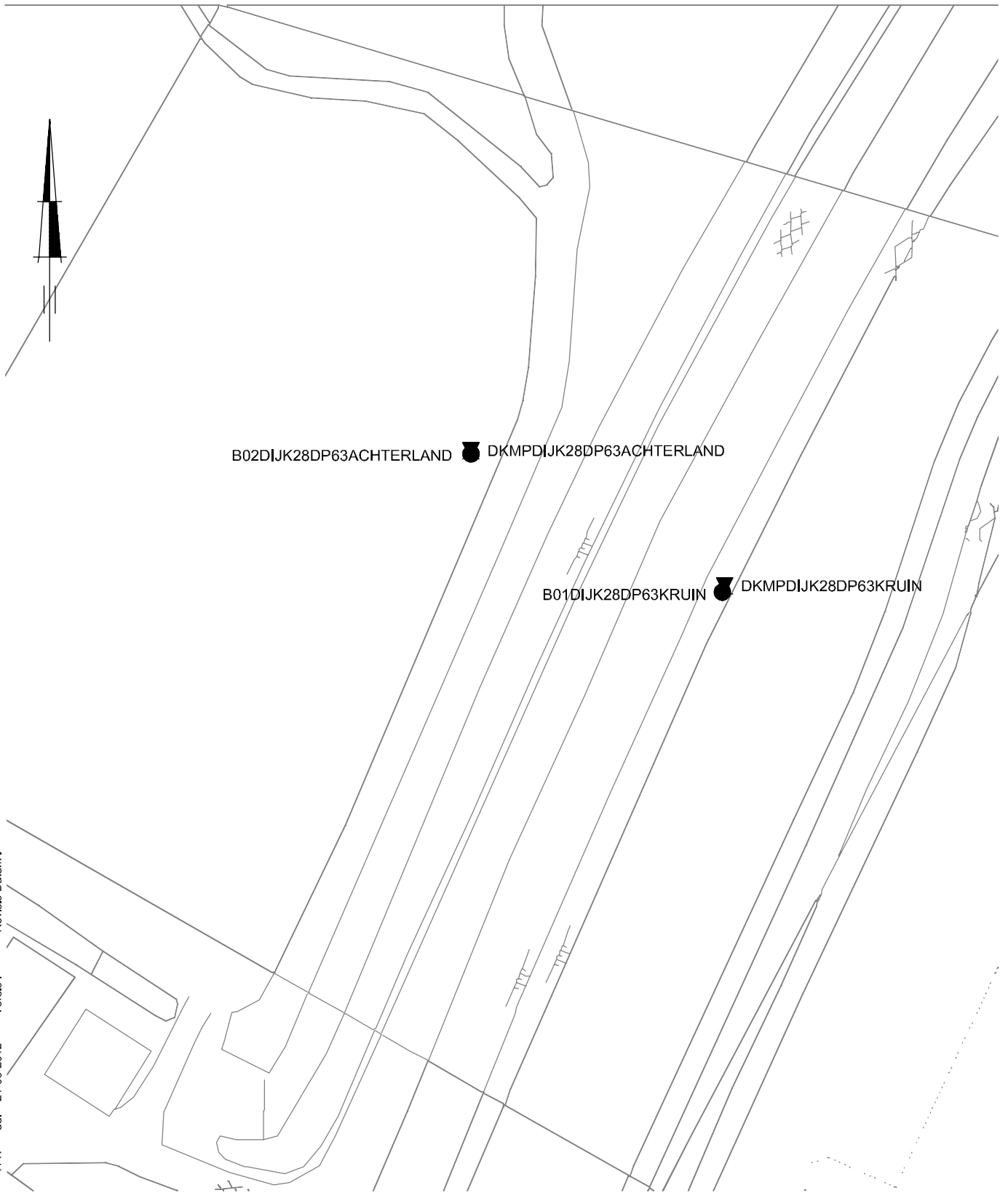


SITUATIE

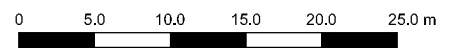
MARKEERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr.: 2111-0004-003

Bijl. : 4



F:\Veldwerk\2111-0004-003\Acad\2111-0004-003-1 tm 4.dwg  
Get.: YFN dd: 21-03-2012  
Versie:                    Revisie Datum:



Schaal 1 : 500

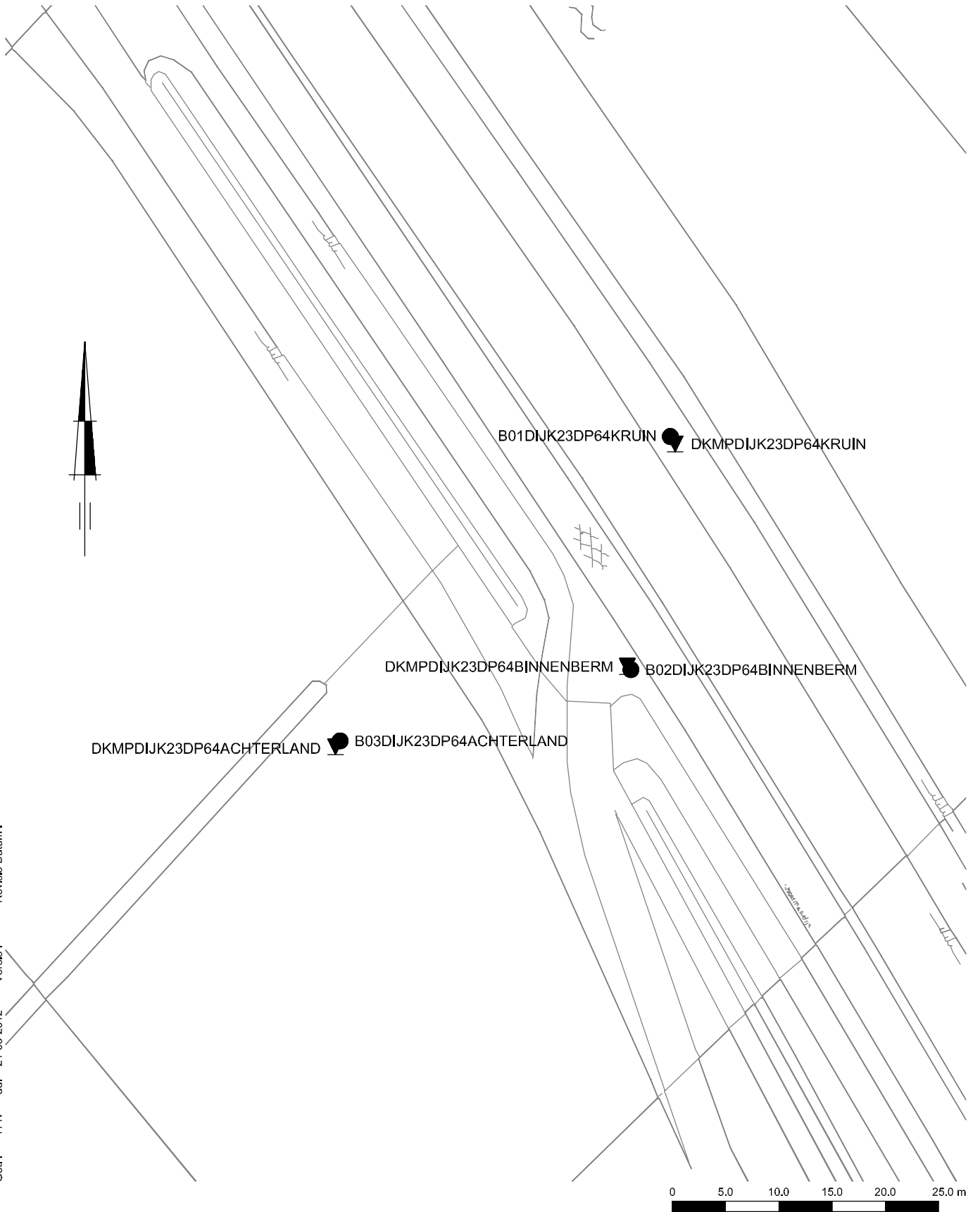
SITUATIE

MARKEERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr.: 2111-0004-003

Bijl. : 3

F:\Veldwerk\2111-0004-003\Acad\2111-0004-003-1 tm 4.dwg  
Get.: YFN dd: 21-03-2012  
Revisie Datum :  
Versie :



## SITUATIE

MARKEERMEERDIJK 4 AANVULLENDE PROFIELEN

Opdr.: 2111-0004-003

Bijl. : 2

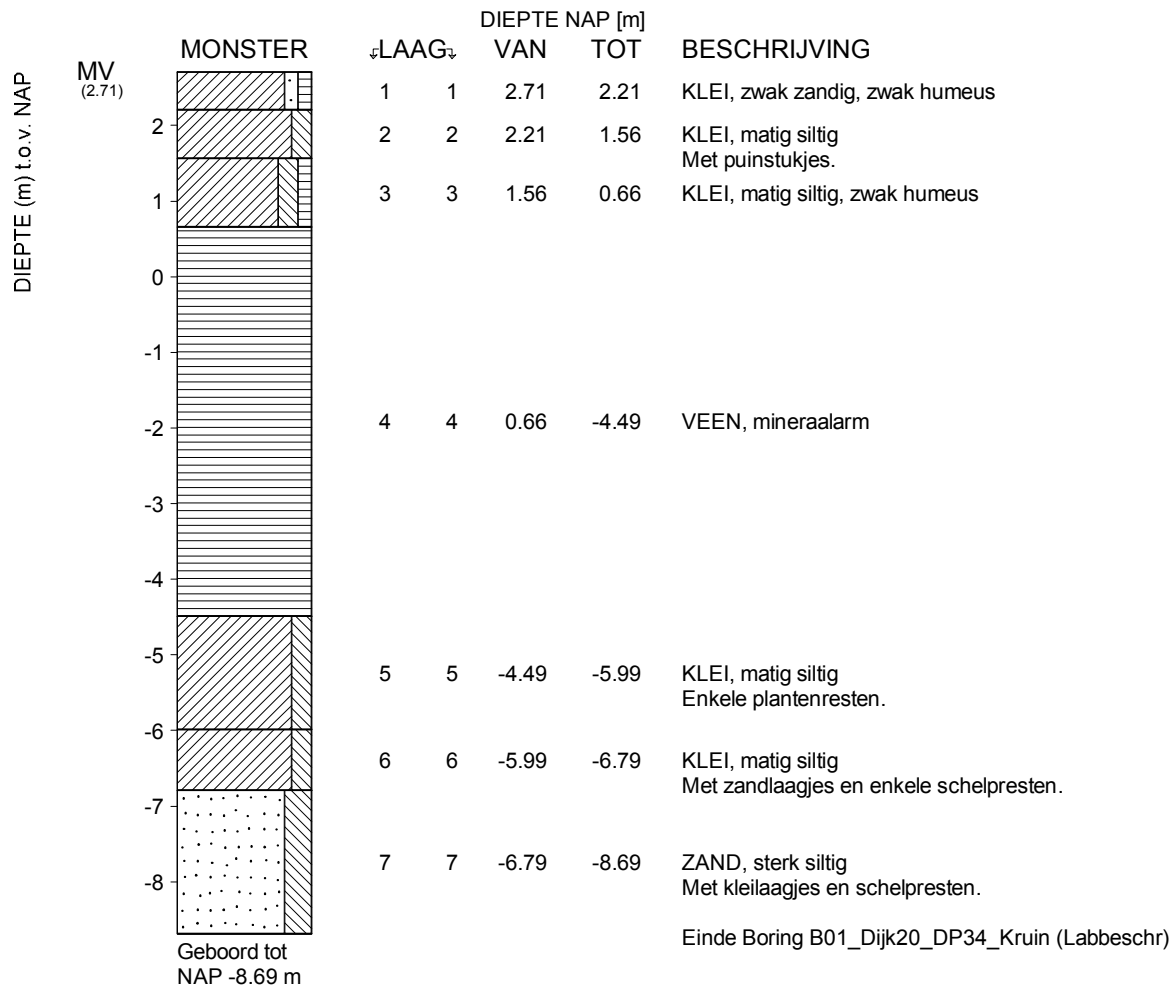
filename	CPT name	operator	recorded	time	processor	process date	process time	x-coördinate	y-coördinate	NAP/VP [m]	zerolevel check	zerolevel records
DKMPDIJK20DP64PACHTERLAND	DKMPDIJK20DP64PACHTERLAND	JBN	01-Mar-2012	11:15:18	UNISTART	2012-03-14	12:20:50	130384.1	516273.9	-3.13	PASSED	6 - 26
DKMPDIJK20DP34KRUIN	DKMPDIJK20DP34KRUIN	JBN	02-Mar-2012	08:58:43	UNISTART	2012-03-14	11:39:20	130390.3	516242.0	+2.67	PASSED	6 - 26
DKMPDIJK23DP64PACHTERLAND	DKMPDIJK23DP64PACHTERLAND	JBN	05-Mar-2012	08:54:02	UNISTART	2012-03-14	12:21:03	131874.3	507401.0	-4.11	PASSED	6 - 26
DKMPDIJK23DP64BINNENBERM	DKMPDIJK23DP64BINNENBERM	JBN	05-Mar-2012	12:11:16	UNISTART	2012-03-14	12:21:12	131901.7	507408.6	-0.56	PASSED	6 - 26
DKMPDIJK23DP64KRUIN	DKMPDIJK23DP64KRUIN	JBN	07-Mar-2012	08:39:56	UNISTART	2012-03-14	11:39:34	131906.2	507429.4	+3.45	PASSED	6 - 26
DKMPDIJK23DP64PACHTERLAND	DKMPDIJK23DP64PACHTERLAND	JBN	13-Mar-2012	11:20:39	UNISTART	2012-03-14	12:49:54	130010.1	488903.1	-1.02	PASSED	32 - 52
DKMPDIJK28DP134KRUIN	DKMPDIJK28DP134KRUIN	JBN	12-Mar-2012	09:35:18	UNISTART	2012-03-14	11:39:43	130020.0	488871.0	+2.88	PASSED	6 - 26
DKMPDIJK23DP64MIDDENBERM	DKMPDIJK23DP64MIDDENBERM	JBN	13-Mar-2012	08:56:33	UNISTART	2012-03-14	12:21:21	130021.3	488883.4	+0.51	PASSED	6 - 26
DKMPDIJK28DP64PACHTERLAND	DKMPDIJK28DP64PACHTERLAND	JBN	09-Mar-2012	08:00:56	UNISTART	2012-03-14	12:21:30	133505.8	493586.6	-1.26	PASSED	6 - 26
DKMPDIJK28DP63KRUIN	DKMPDIJK28DP63KRUIN	JBN	08-Mar-2012	09:15:40	UNISTART	2012-03-14	11:39:53	133528.8	493574.3	+3.11	PASSED	6 - 26

**SUMMARY CPT FILE'S**



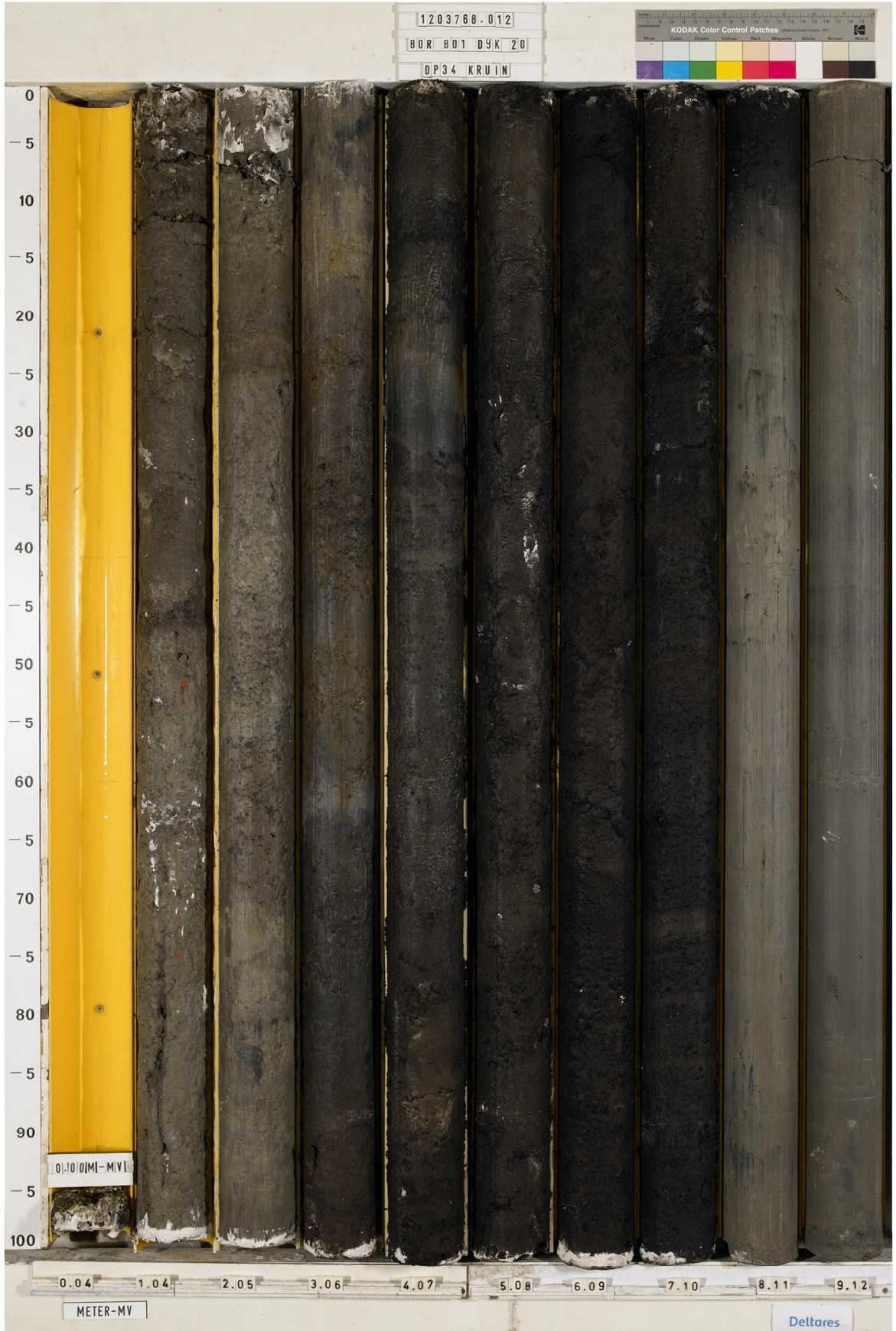
## **G Factualreport laboratoriumproeven doorvertaling**

## **A Boorbeschrijvingen en –foto's**



X = 130390.89 m Y = 516242.12 m (RD)

<b>Deltares</b>	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2012-03-08	get. Bjl
	Markermeerdijk analyses en eindrapportage Rond beschreven.		--1203768/12	gez.
Begemannboring 66 mm B01_Dijk20_DP34_Kruin (Labbeschr)			BIJL. B01.1	form. A4



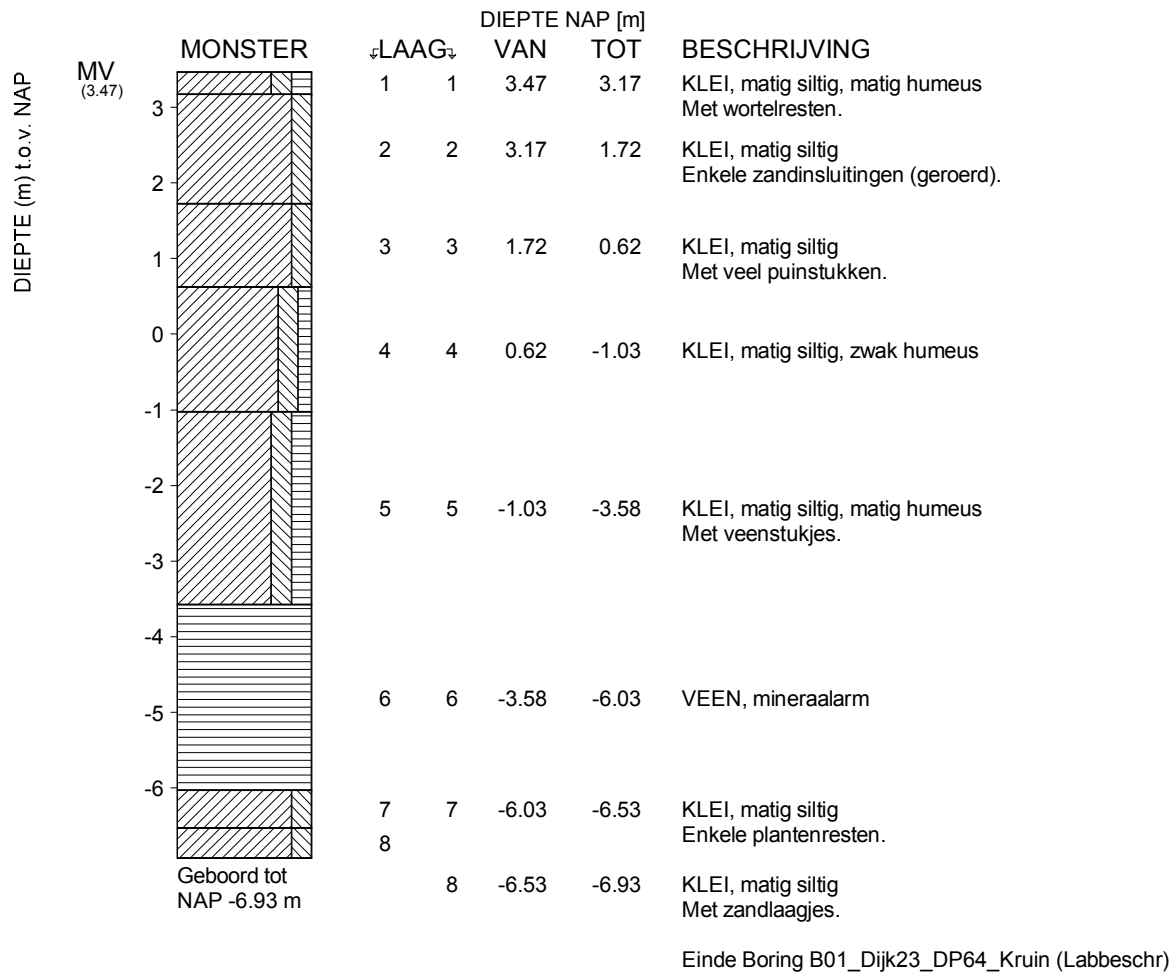
BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 1/2	File B01-20-34 K
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl		datum 2012-04-12		get. Mar	
Markermeerdijk analyses en eindrapportage BORING B01 Dijk20 DP34 Kruin				1203768/012	
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		gez. *)	
				form. A4	
				BIJL. BFB01.1	

\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-13 09:30



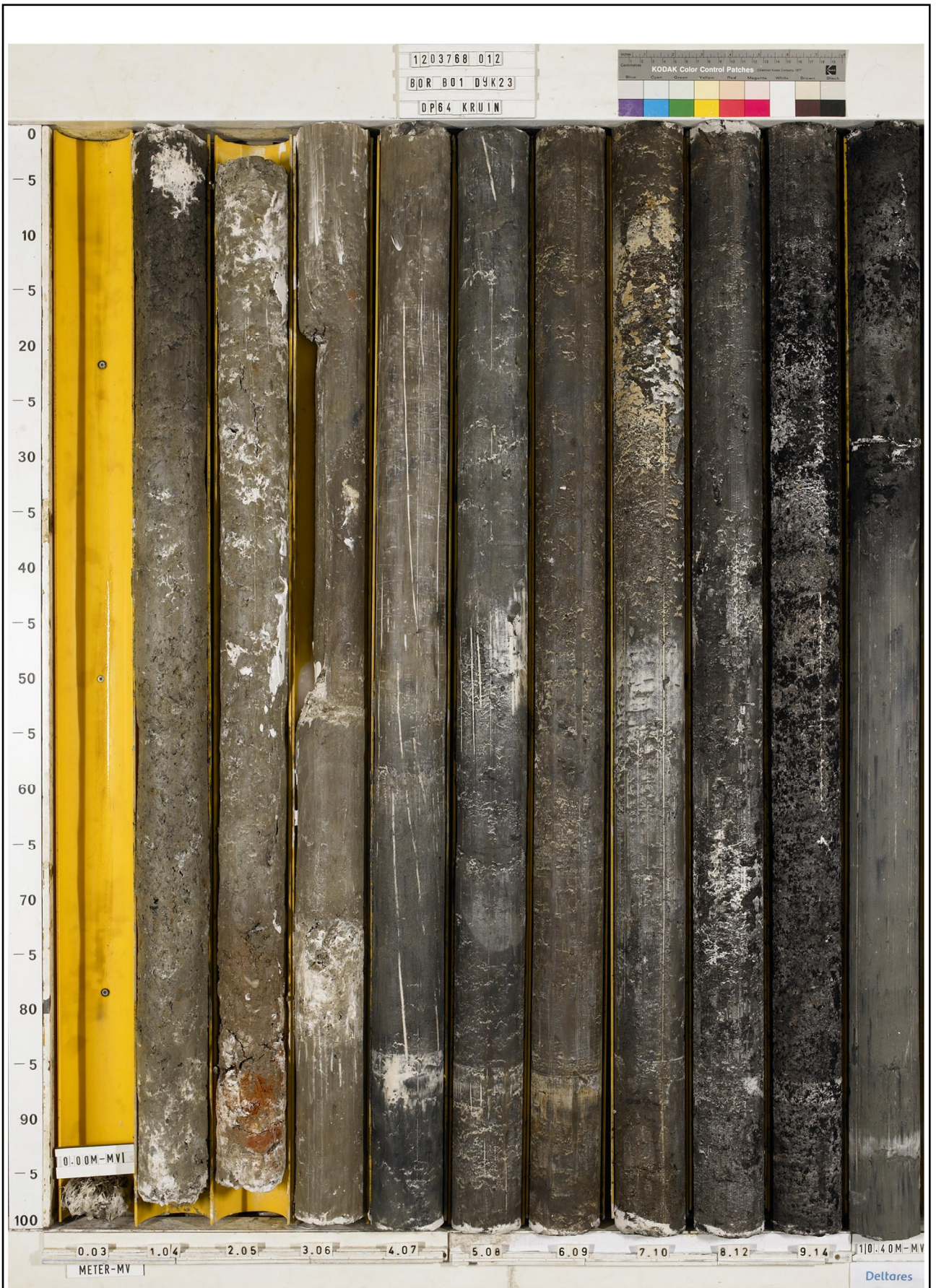
BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 2/2	File B01-20-34 K
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum 2012-04-12		get. Mar		
	Markerveerdijk analyses en eindrapportage BORING B01 Dijk20 DP34 Kruin		gez. *)		
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		BIJL. BFB01.1 form. A4	

\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-13 09:30



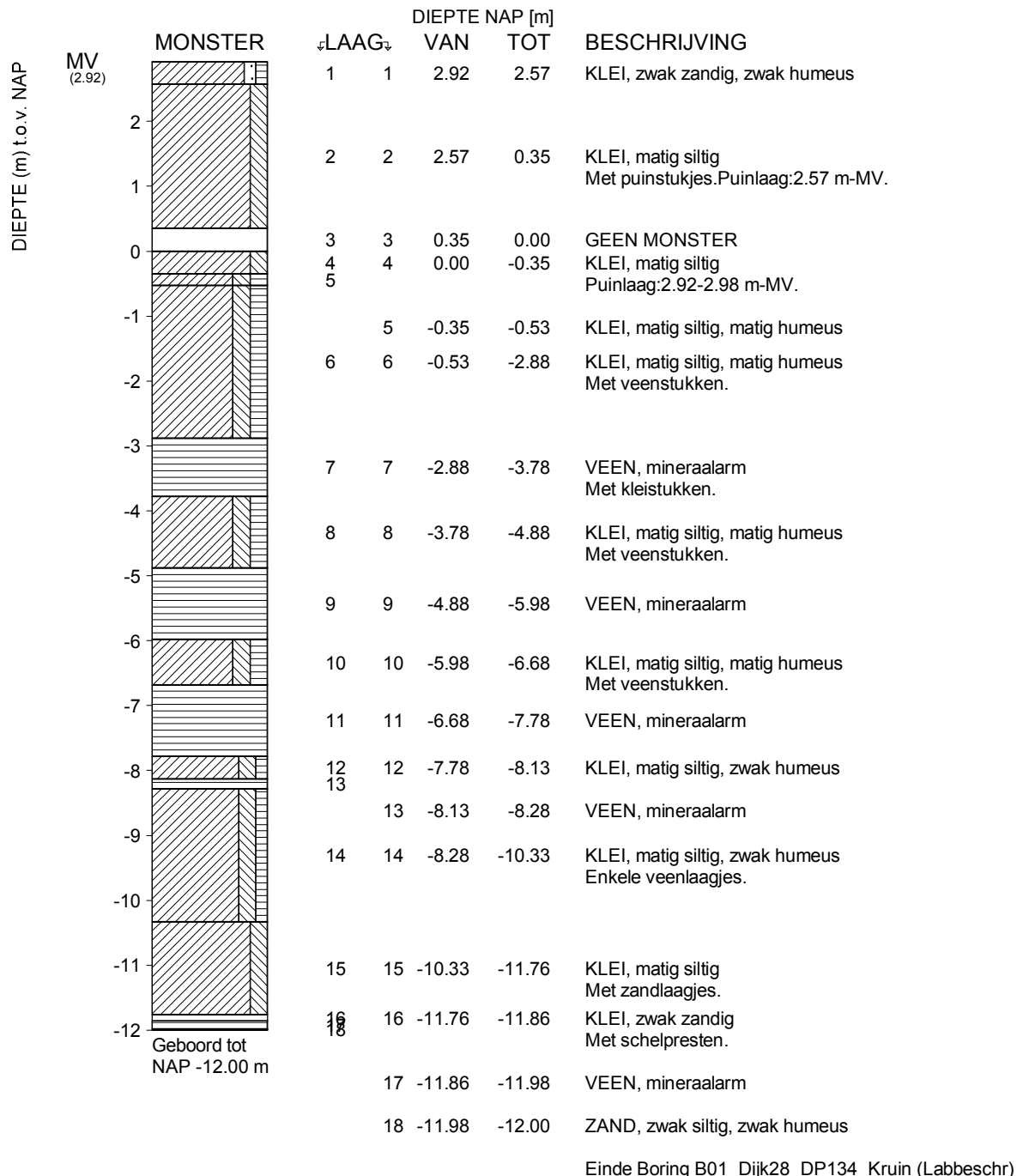
X = 131905.76 m Y = 507430.06 m (RD)

<b>Deltares</b> Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
		2012-03-08	Bjl
Markermeerdijk analyses en eindrapportage Rond beschreven. Begemannboring 66 mm B01_Dijk23_DP64_Kruin (Labbeschr)		--1203768/12	gez.
		BIJL. B01.2	form. A4



BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 1/1	File B01-23-64 K
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl		datum 2012-04-12		get. Mar	
Markermeerdijk analyses en eindrapportage BORING B01 Dijk23 DP64 Kruin		1203768/012		gez. *)	
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		form. A4	

\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-13 09:11

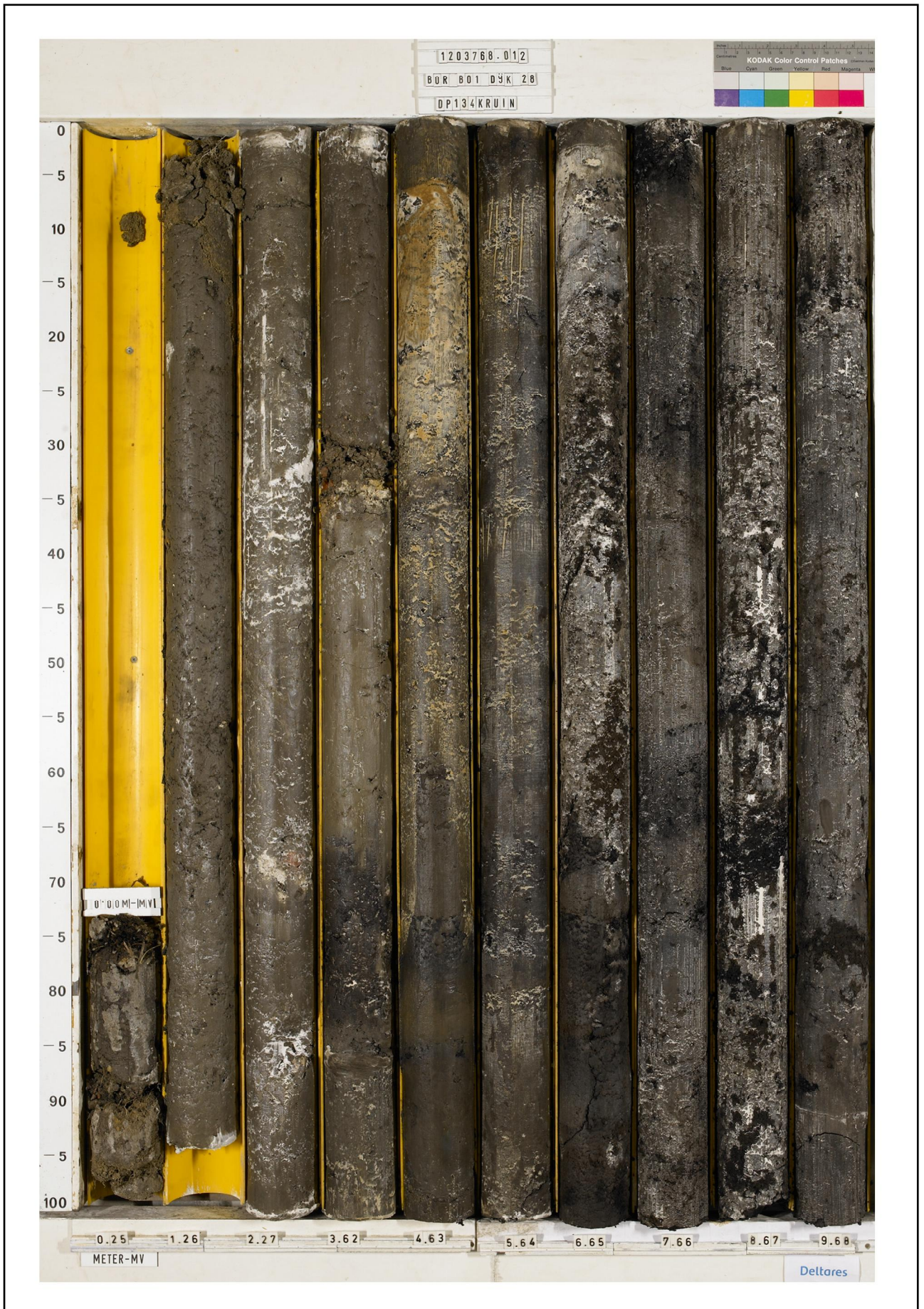


X = 130020.75 m Y = 488871.42 m (RD)

<b>Deltares</b> Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
		2012-03-13	Bjl
Markermeerdijk analyses en eindrapportage Rond beschreven. <b>Begemannboring 66 mm B01_Dijk28_DP134_Kruin (Labbeschr)</b>		--1203768/12	gez.
		BIJL. B01.4	form. A4

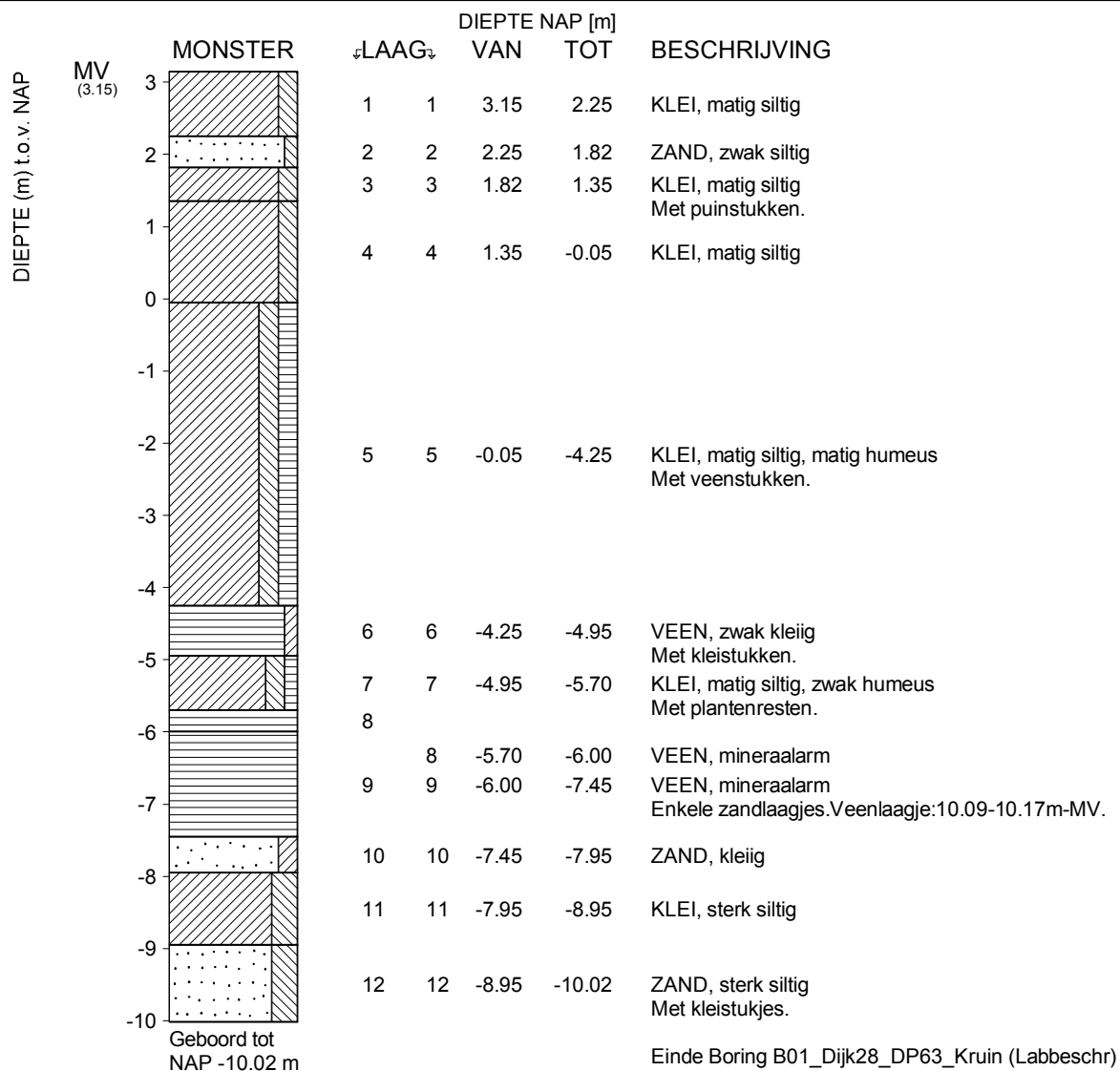
\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-05 10:02





BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 1/2	File B01-28-134 K
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl		datum 2012-04-11		get. Mar	
Markermeerdijk analyses en eindrapportage BORING B01 Dijk28 DP134 Kruin			1203768/012		gez. *)
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		BIJL. BFB01.4 form. A4	

\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-13 09:13



X = 133528.60 m Y = 493573.62 m (RD)

<b>Deltares</b>	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2012-03-09	get. Bjl
	Markermeerdijk analyses en eindrapportage Rond beschreven.		--1203768/12	gez.
Begemannboring 66 mm B01_Dijk28_DP63_Kruin (Labbeschr)		BIJL. B01.3	form. A4	



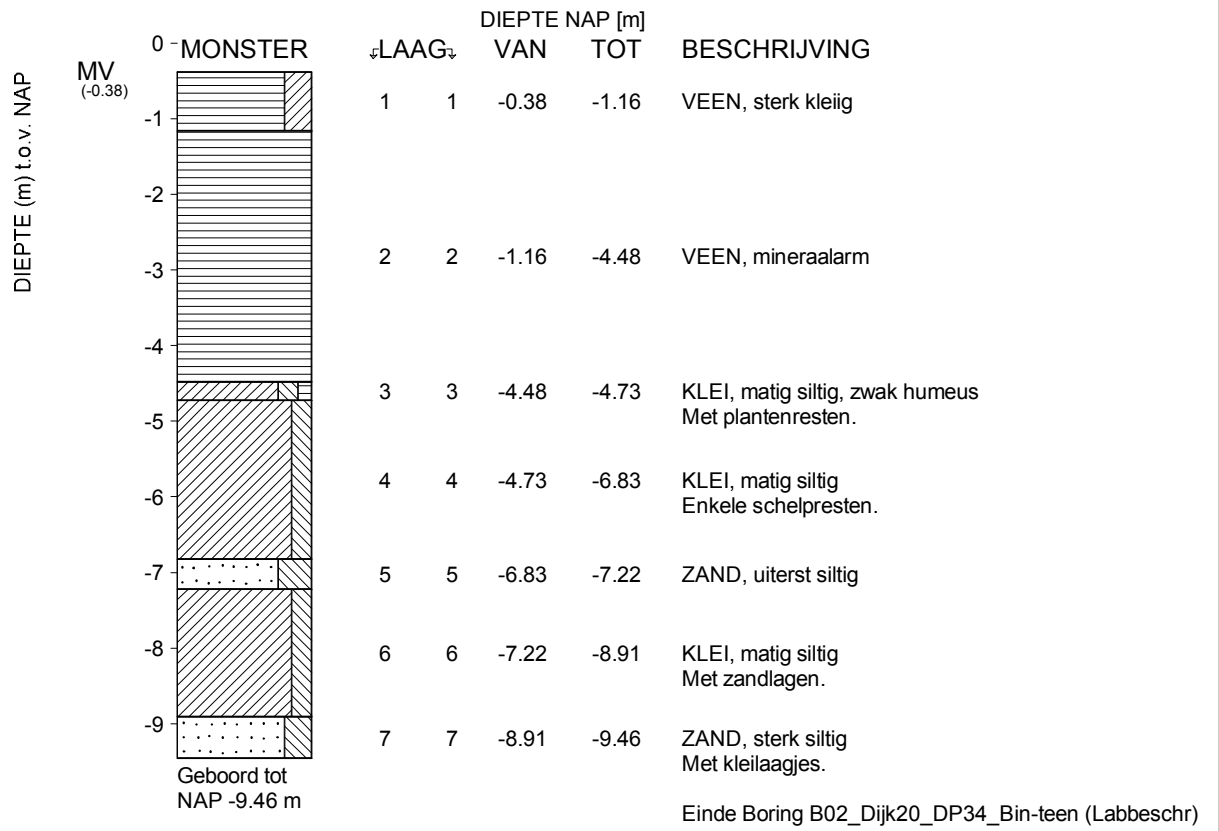
BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnr:	Gewijzigd:	Blad 1/2	File B01-28-63 K
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl		datum 2012-04-11		get. Mar	
Markermeerdijk analyses en eindrapportage BORING B01 Dijk28 DP63 Kruin				1203768/012	
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		gez. *)	
				form. A4	
				BIJL. BFB01.3	

\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-13 09:12



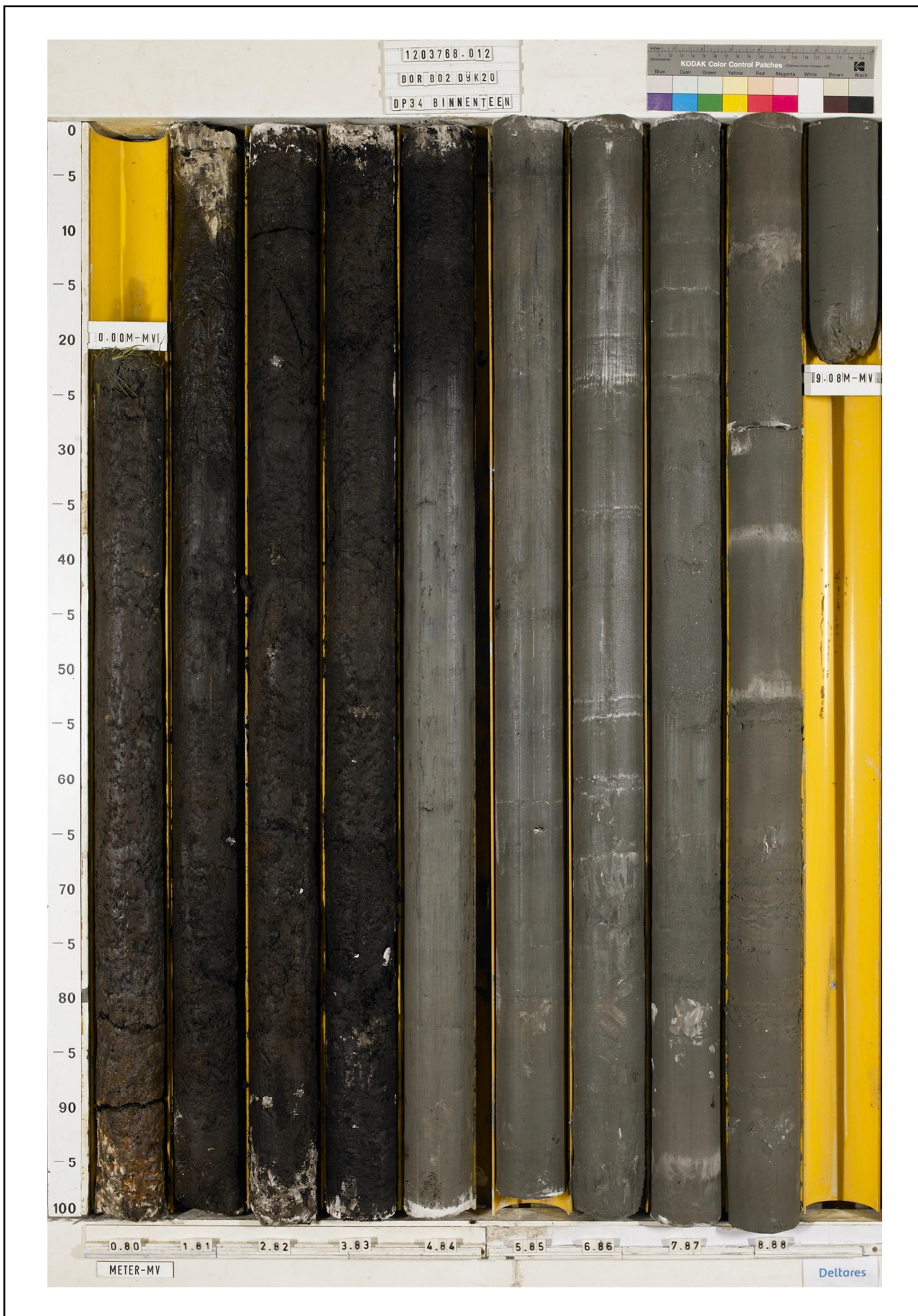
BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 2/2	File B01-28-63 K
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum 2012-04-11		get. Mar		
	Markerveerdijk analyses en eindrapportage BORING B01 Dijk28 DP63 Kruin		gez. *)		
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		form. A4	
		BIJL. BFB01.3			

\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-13 09:12



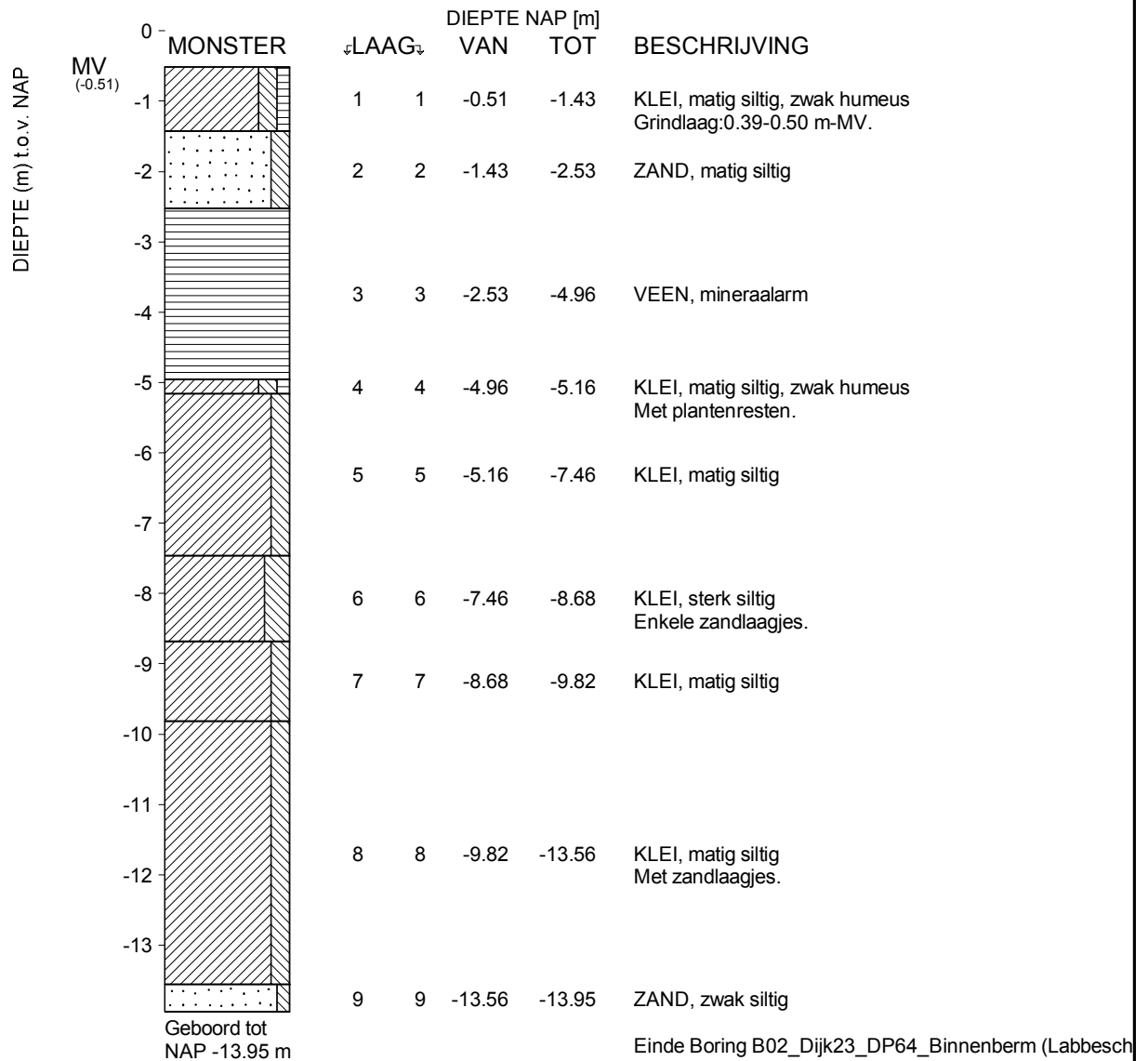
X = 130391.77 m Y = 516250.52 m (RD)

<b>Deltares</b>	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2012-03-15	get. Bjl
	Markermeerdijk analyses en eindrapportage Rond beschreven.		--1203768/12	gez.
Begemannboring 66 mm B02_Dijk20_DP34_Bin-teen (Labbeschr)		BIJL. B02.1	form. A4	



BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Filenaam:	Gewijzigd:	Blad 1/1	File B02-20-34 B
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl		datum 2012-04-12		get. Mar	
Markermeerdijk analyses en eindrapportage BORING B02 Dijk20 DP34 Binnenteen				1203768/012	
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		gez. *)	
				form. A4	
				BIJL. BFB02.1	

\*) Vrijgegeven door Morel\_se op 2012-04-12 16:56



X = 131902.06 m Y = 507408.16 m (RD)

<b>Deltares</b> Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
		2012-03-15	Bjl
Markermeerdijk analyses en eindrapportage Rond beschreven. Begemannboring 66 mm B02_Dijk23_DP64_Binnenberm (Labbesch)		--1203768/12	gez.
		B.J.L. B02.2	form. A4



BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnr: 1203768.012	Gewijzigd:	Blad 1/2	File B02-23-64 B
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl		BOR B02 D9K23 DP64 BINNENBERM		datum 2012-04-12	get. Mar
Markermeerdijk analyses en eindrapportage BORING B02 Dijk23 DP64 Binnenberm				1203768/012	gez. *)
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		BIJL. BFB02.2	form. A4

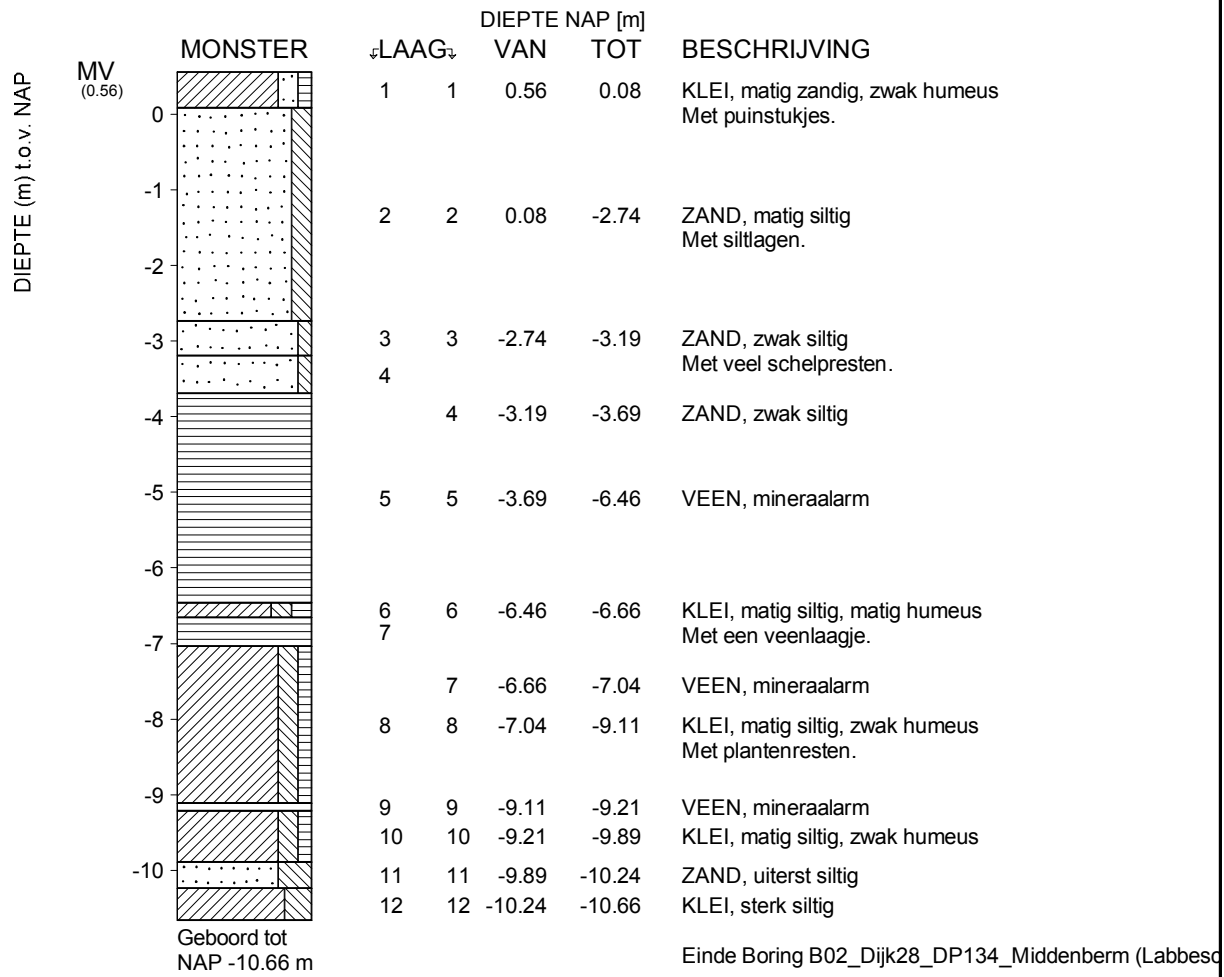
\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-13 09:15





BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 2/2	File B02-23-64 B
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum 2012-04-12		get. Mar		
	Markerveerdijk analyses en eindrapportage BORING B02 Dijk23 DP64 Binnenberm		gez. *)		
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		form. A4	
		BIJL. BFB02.2			

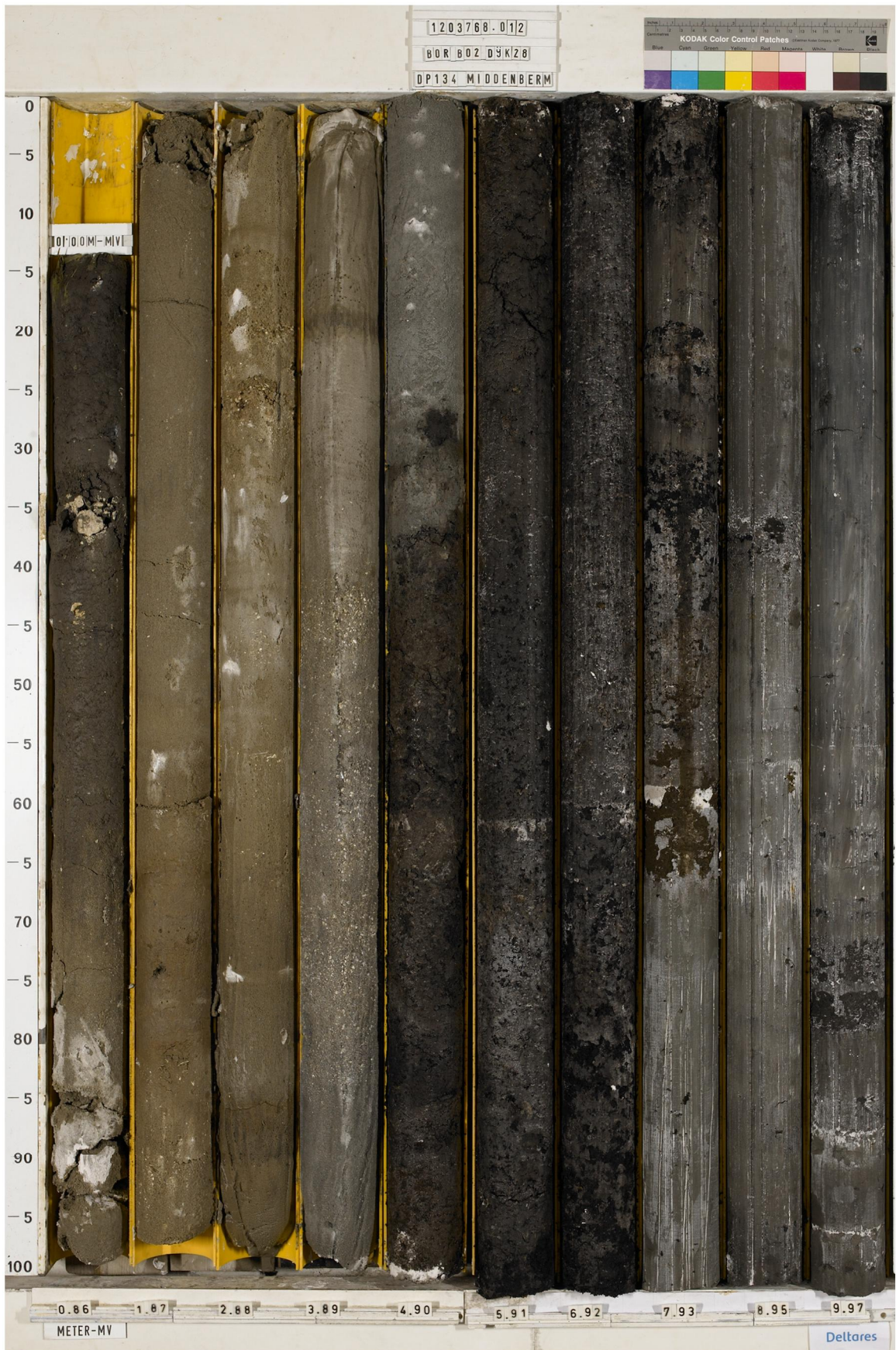
\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-13 09:15



X = 130021.73 m Y = 488883.76 m (RD)

<b>Deltares</b>	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2012-03-15	get. Bjl
	Markermeerdijk analyses en eindrapportage Rond beschreven.		--1203768/12	gez.
Begemann boring 66 mm B02_Dijk28_DP134_Middenberm (Labbesch)			B02.4	form. A4

\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-05 10:01



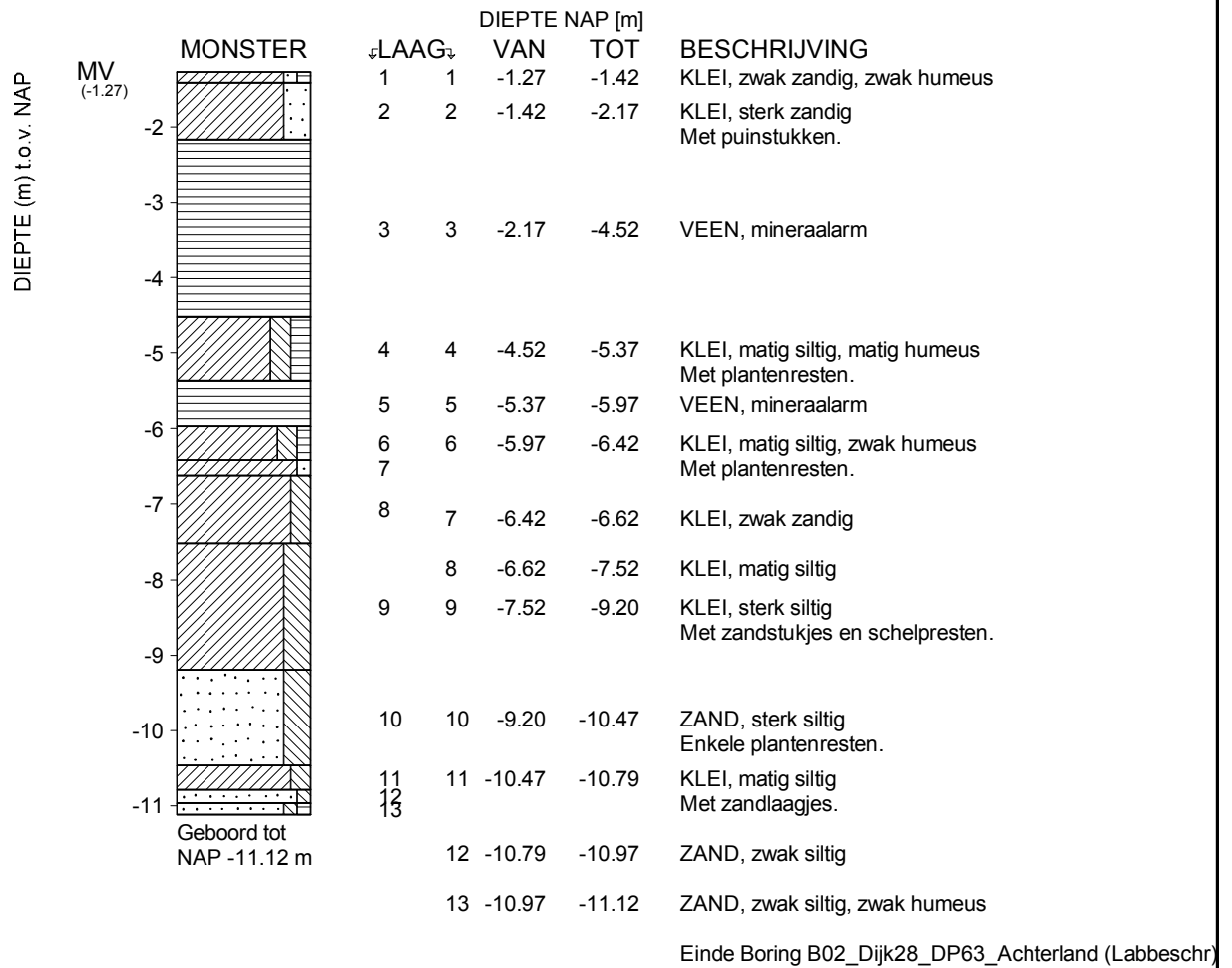
BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Filenaam:	Gewijzigd:	Blad 1/2	File B02-28-134 M
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum 2012-04-12		get. Mar		
	Markermeerdijk analyses en eindrapportage BORING B02 Dijk28 DP134 Middenberm		gez. *)		
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		form. A4	

\*) Vrijgegeven door Morel\_se op 2012-04-12 16:59



BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 2/2	File B02-28-134 M
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum 2012-04-12		get. Mar		
	Markermeerdijk analyses en eindrapportage BORING B02 Dijk28 DP134 Middenberm		1203768/012		gez. *)
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		BIJL. BFB02.4 form. A4	

\*) Vrijgegeven door Morel\_se op 2012-04-12 16:59



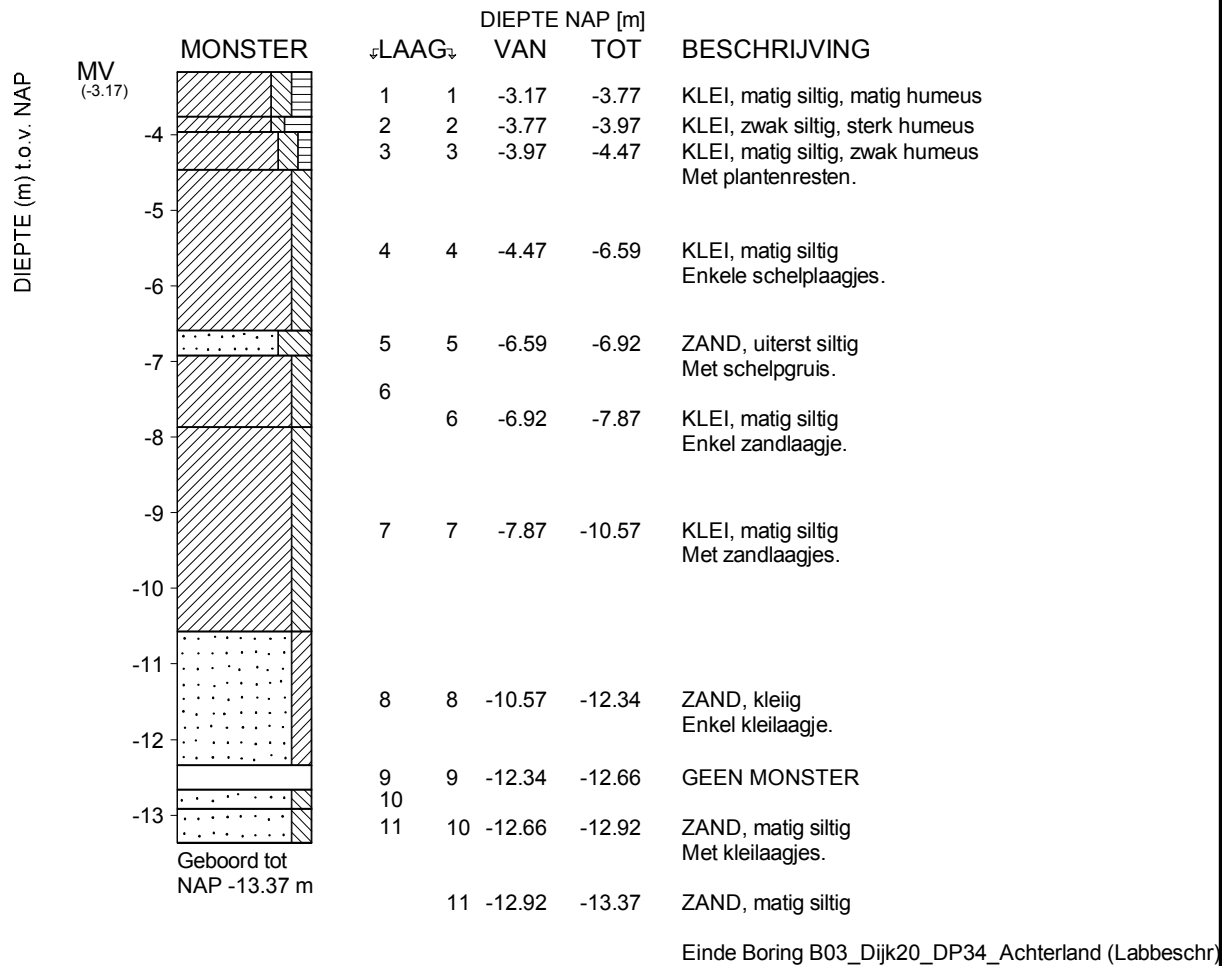
X = 133505.78 m Y = 493586.17 m (RD)

<b>Deltares</b>	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
			2012-03-12	Bjl
Markermeerdijk analyses en eindrapportage Rond beschreven.			--1203768/12	gez.
			BIJL. B02.3	form. A4
Begemannboring 66 mm B02_Dijk28_DP63_Achterland (Labbeschr)				



BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 1/1	File B02-28-63 A
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	Markerveerdijk analyses en eindrapportage BORING B02 Dijk28 DP63 Achterland		datum 2012-04-11	get. Mar	gez. *)
	FOTO BORING Type: Begemannboring 66 mm		BIJL. BFB02.3	form. A4	

\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-13 09:16



X = 130383.55 m Y = 516273.58 m (RD)

<b>Deltares</b>	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2012-03-08	get. Bjl
	Markermeerdijk analyses en eindrapportage Rond beschreven.		--1203768/12	gez.
Begemannboring 66 mm B03_Dijk20_DP34_Achterland (Labbeschr)		BIJL. B03.1	form. A4	

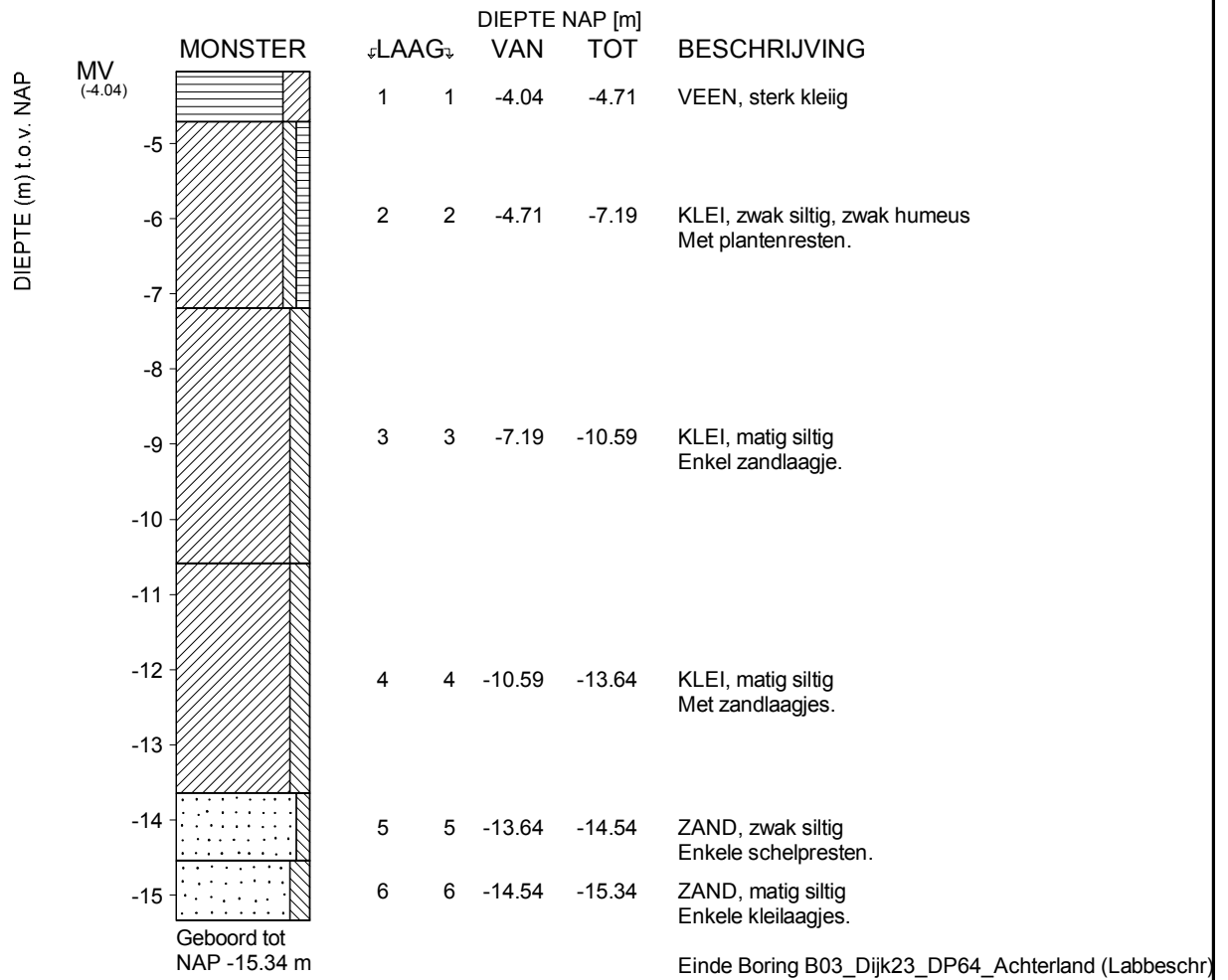
\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-10 14:44



BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 1/1	File B03-20-34 A
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl		datum 2012-04-11		get. Mar	
Markermeerdijk analyses en eindrapportage BORING B03 Dijk20 DP34 Achterland				1203768/012	
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		BIJL. BFB03.1	
				gez. *)	
				form. A4	

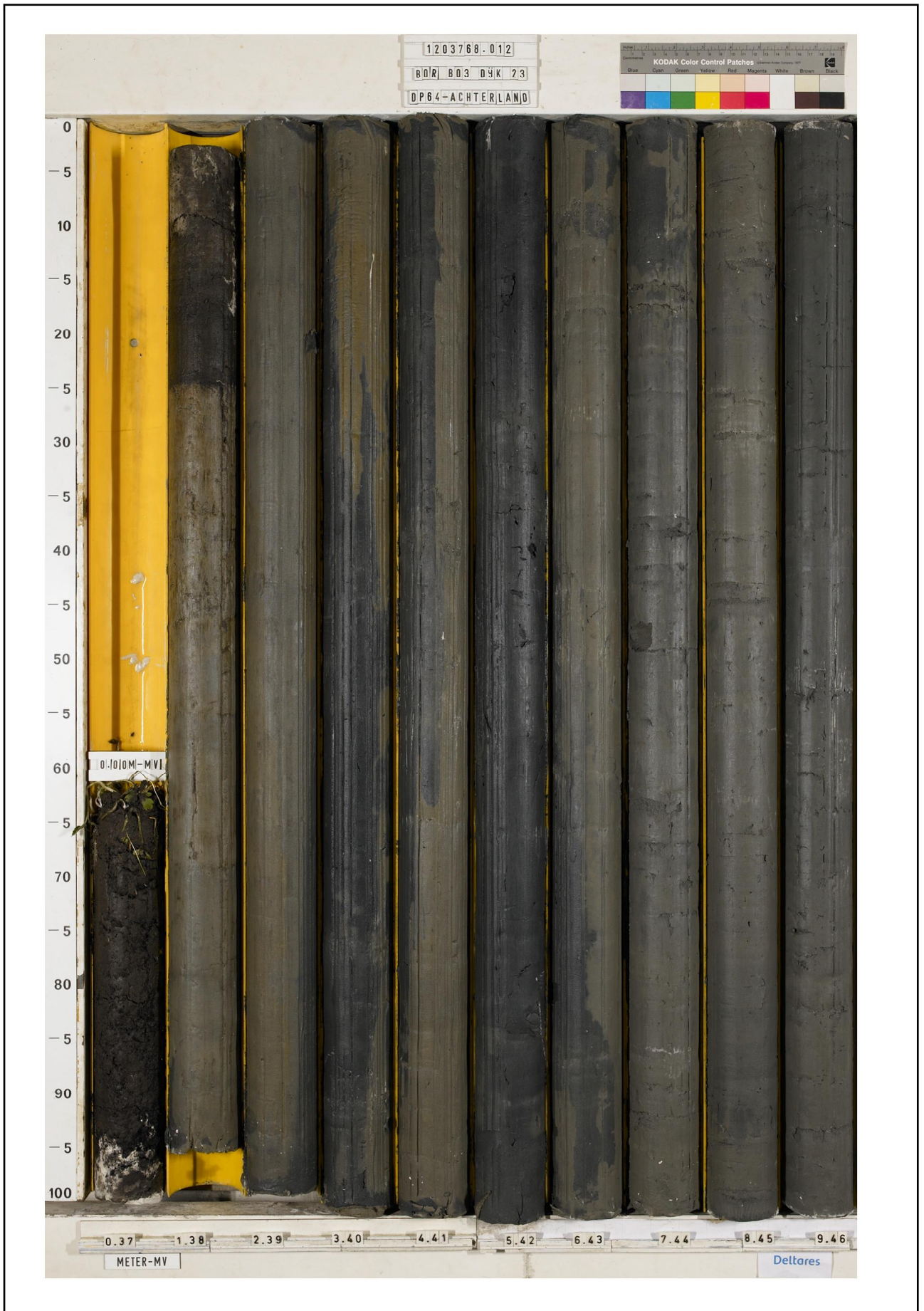
\*) Vrijgegeven door Morel\_se op 2012-04-12 16:56





X = 131874.75 m Y = 507401.47 m (RD)

<b>Deltares</b>	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2012-03-08	get. Bjl
	Markermeerdijk analyses en eindrapportage Rond beschreven.		--1203768/12	gez.
Begemannboring 66 mm B03_Dijk23_DP64_Achterland (Labbeschr)		BIJL.	B03.2	form. A4



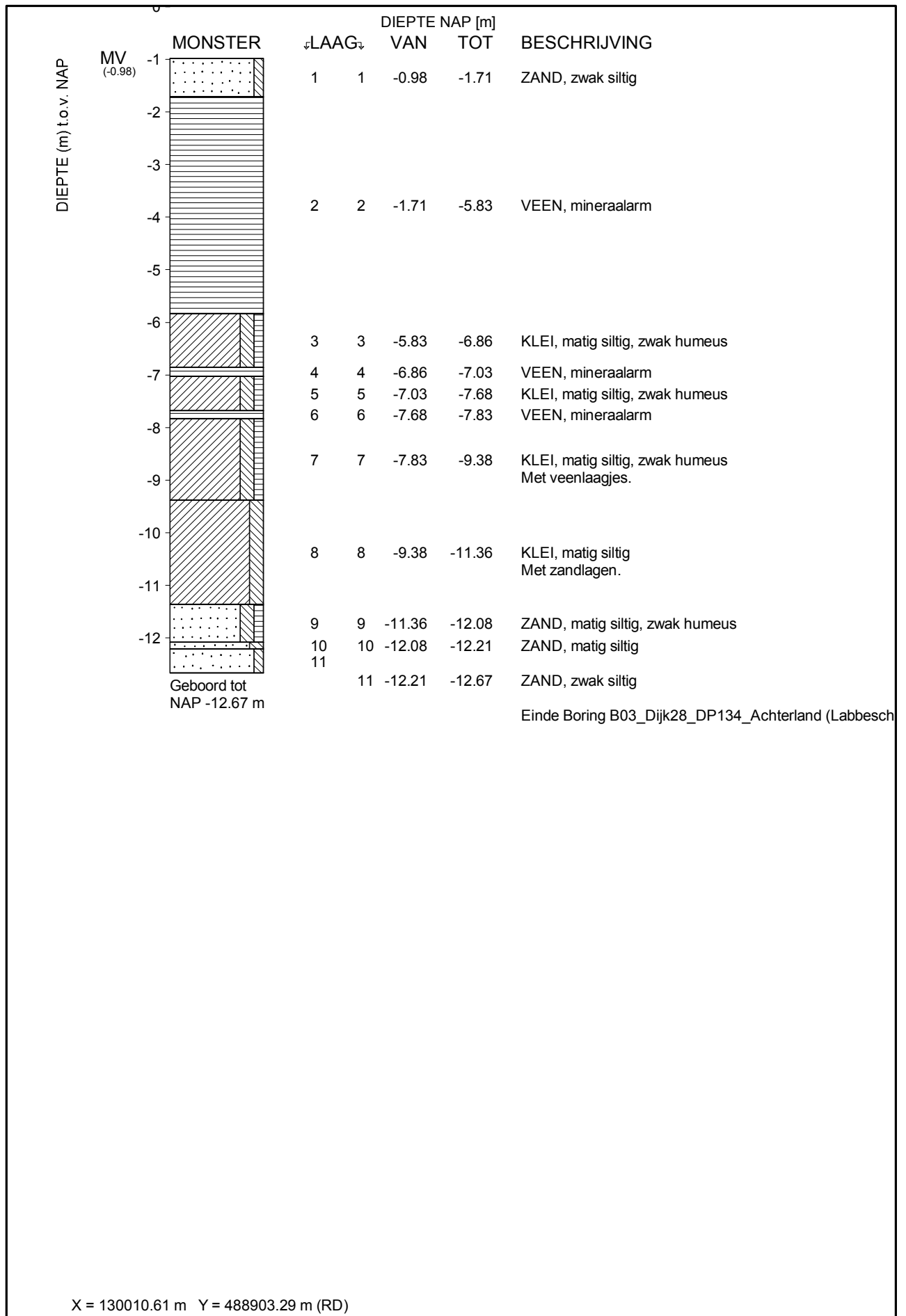
BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandsnaam:	Gewijzigd:	Blad 1/2	File B03-23-64 A
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl				datum 2012-04-11	get. Mar
Markermeerdijk analyses en eindrapportage BORING B03 Dijk23 DP64 Achterland				1203768/012	gez. *)
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		BIJL. BFB03.2	form. A4

\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-13 11:42



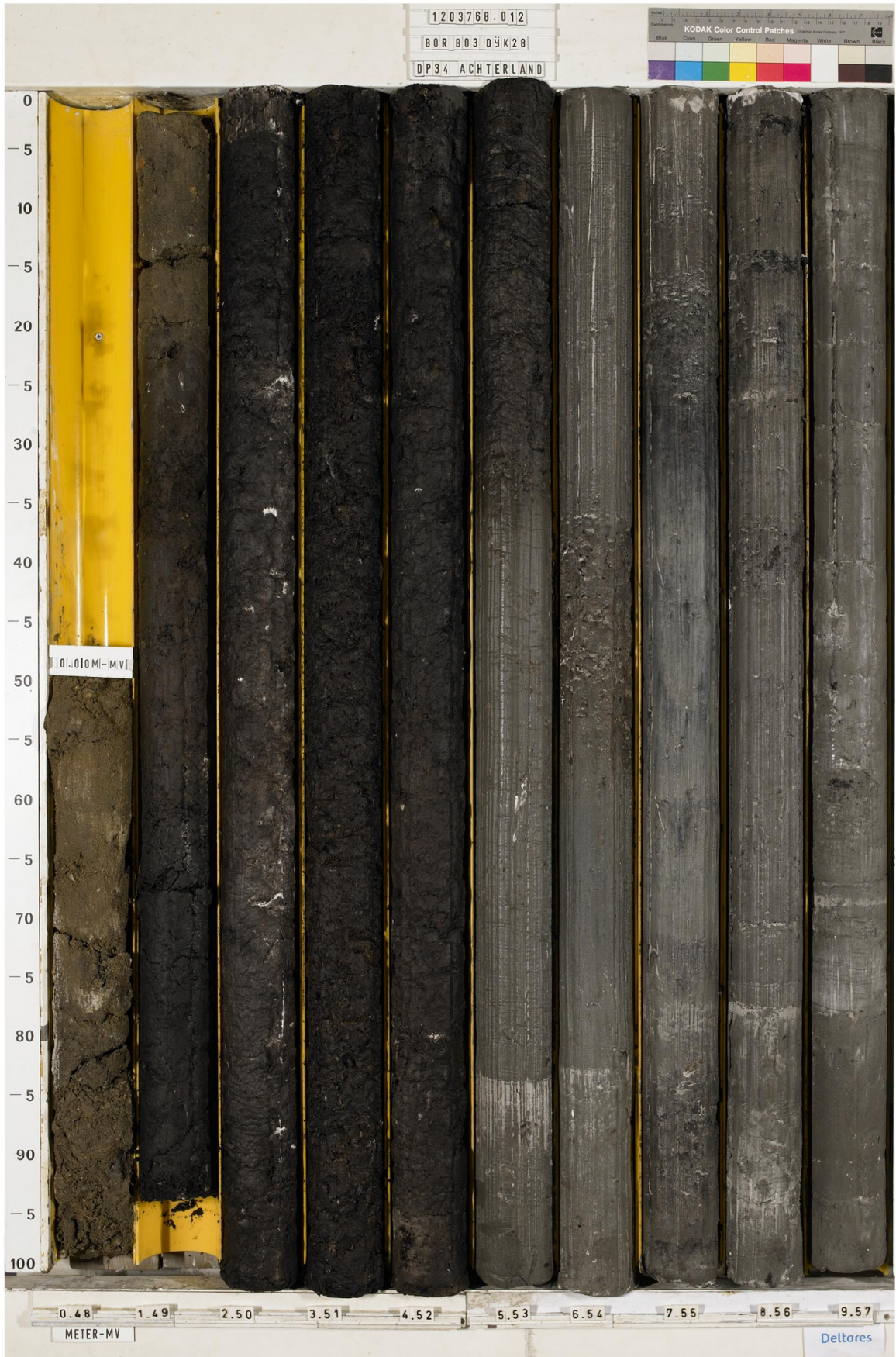
BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 2/2	File B03-23-64 A
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum 2012-04-11		get. Mar		
	Markerveerdijk analyses en eindrapportage BORING B03 Dijk23 DP64 Achterland		gez. *)		
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		form. A4	

\*) Vrijgegeven door Hsd op 2012-04-13 11:42



X = 130010.61 m Y = 488903.29 m (RD)

<b>Deltares</b> Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2012-03-15	get. Bjl
	Markermeerdijk analyses en eindrapportage Rond beschreven.	--1203768/12	gez.
	Begemannboring 66 mm B03_Dijk28_DP134_Achterland (Labbesch)	B.J.L. B03.3	form. A4



BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Filenaam:	Gewijzigd:	Blad 1/2	File B03-28-134 A
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum 2012-04-12		get. Mar		
	Markermeerdijk analyses en eindrapportage BORING B03 Dijk28 DP134 Achterland		gez. *)		
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		form. A4	

\*) Vrijgegeven door Morel\_se op 2012-04-12 16:59



BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 2/2	File B03-28-134 A
<b>Deltares</b> Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl		datum 2012-04-12		get. Mar	
Markermeerdijk analyses en eindrapportage BORING B03 Dijk28 DP134 Achterland		1203768/012		gez. *)	
FOTO BORING		Type: Begemannboring 66 mm		BIJL. BFB03.3 form. A4	

\*) Vrijgegeven door Morel\_se op 2012-04-12 16:59

## **A Boorbeschrijvingen en –foto's**





Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Plasticiteit conform RAW		
		van [m - MV]	tot [m - MV]				w <sub>L</sub> [%]	w <sub>P</sub> [%]	I <sub>p</sub> [%]
B01_Dijk20_..	13C	-0.79	-0.83	Klei, matig siltig			60	31	28
	13A	-1.00	-1.04	Klei, matig siltig		25.58			
	15A	-2.05	-2.25	Klei, matig siltig, zwak humeus	16.42				
	15AA	-2.05	-2.12	Klei, matig siltig, zwak humeus		26.27			
	15AC	-2.15	-2.19	Klei, matig siltig			82	38	43
	15B	-2.25	-2.45	Klei, zwak siltig, matig humeus	13.56				
	15C	-2.45	-2.65	Klei, zwak siltig, zwak humeus	14.91				
	15CA	-2.45	-2.49	Klei, zwak siltig, zwak humeus		23.30			
	15D	-2.65	-2.85	Klei, zwak siltig, matig humeus	13.45				
	15DA	-2.65	-2.69	Klei, matig siltig, zwak humeus			90	42	48
	15E	-2.85	-3.06	Klei, zwak siltig, sterk humeus	11.98				
	16A	-3.06	-3.26	Veen, sterk kleilig	11.52				
	16B	-3.26	-3.46	Veen, sterk kleilig	11.84				
	16C	-3.46	-3.66	Veen, sterk kleilig	11.58				
	16D	-3.66	-3.86	Veen, mineraalarm	10.72				
	16E	-3.86	-4.07	Klei, zwak siltig, matig humeus, gaat over in Veen,miner..	11.61				
	17A	-4.07	-4.27	Veen, sterk kleilig	11.65				
	17B	-4.27	-4.47	Veen, mineraalarm	11.18				
	17C	-4.47	-4.67	Veen, mineraalarm	10.74				
	17D	-4.67	-4.87	Veen, mineraalarm	10.82				
	17E	-4.87	-5.08	Veen, mineraalarm	10.93				
	17EA	-4.87	-4.94	Veen, mineraalarm		16.93			
	18A	-5.08	-5.28	Veen, mineraalarm	10.78				
	18B	-5.28	-5.48	Veen, mineraalarm	10.97				
	18C	-5.48	-5.68	Veen, mineraalarm	10.97				
	18D	-5.68	-5.88	Veen, mineraalarm	10.16				
	18E	-5.88	-6.09	Veen, mineraalarm	9.88				
	19A	-6.09	-6.29	Veen, mineraalarm	10.43				
	19B	-6.29	-6.49	Veen, mineraalarm	10.12				
	19C	-6.49	-6.69	Veen, mineraalarm	10.08				
	19D	-6.69	-6.89	Veen, mineraalarm	10.33				
	19E	-6.89	-7.10	Veen, mineraalarm	9.96				

**Deltares**

Postbus 177, 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200  
Telefax 015 261 0821

Homepage:  
www.deltares.nl

datum  
2012-05-01

get.  
Bijl

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin  
TABLAB [blad 1/1]

project  
1203768.018

gez.  
\*)

bijlage  
AA2

form.  
A4

Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Plasticiteit conform RAW		
		van [m - MV]	tot [m - MV]				w <sub>L</sub> [%]	w <sub>p</sub> [%]	I <sub>p</sub> [%]
B01_Dijk23_...	2C	-0.78	-0.83	Klei, matig siltig, enkele zandinsluitingen			83	37	45
	2A	-1.00	-1.04	Klei, matig siltig, enkele zandinsluitingen.		25.76			
	4B	-2.74	-2.79	Klei, matig siltig, met schelpstukjes.			74	37	37
	5A	-4.02	-4.07	Klei, sterk siltig		25.18			
	9A	-7.10	-7.30	Klei, zwak siltig, matig humeus	13.20				
	9B	-7.30	-7.50	Klei, zwak siltig, matig humeus	12.93				
	9C	-7.50	-7.70	Klei, zwak siltig, sterk humeus	12.64				
	9D	-7.70	-7.91	Klei, zwak siltig, sterk humeus	12.47				
	9DA	-7.70	-7.74	Veen, mineraalarm			206	103	103
	9E	-7.91	-8.12	Klei, zwak siltig, sterk humeus	12.34				
	10A	-8.12	-8.32	Veen, zwak kleilig	11.36				
	10B	-8.32	-8.52	Veen, mineraalarm	10.44	15.97			
	10C	-8.52	-8.72	Veen, mineraalarm	10.13				
	10D	-8.72	-8.93	Veen, mineraalarm	9.97				
	10E	-8.93	-9.14	Veen, mineraalarm	10.84				
	11A	-9.14	-9.34	Veen, mineraalarm	10.25				

**Deltares**

Postbus 177, 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200  
Telefax 015 261 0821

Homepage:  
www.deltares.nl

datum  
2012-05-01

get.  
Bijl

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin  
TABLAB [blad 1/1]

project  
1203768.018

gez.  
\*)

bijlage  
AA3

form.  
A4

Boringcode	Monsteroorde	Diepte		Grondbeschrijving	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Plasticiteit conform RAW		
		van [m - MV]	tot [m - MV]				w <sub>L</sub> [%]	w <sub>p</sub> [%]	i <sub>p</sub> [%]
B01_Dijk28_...	46B	-0.48	-0.58	Klei, matig siltig			77	30	47
	48A	-2.76	-2.80	Klei, matig siltig		24.07			
	51C	-5.17	-5.27	Klei, matig siltig, matig humeus			177	88	89
	55A	-8.89	-9.09	Veen, mineraalarm	10.40				
	55C	-9.24	-9.34	Klei, sterk siltig			43	22	21
	51B	-11.10	-11.15	Zand, zwak siltig		25.93			

**Deltares**

Postbus 177, 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200  
Telefax 015 261 0821

Homepage:  
www.deltares.nl

datum  
2012-05-01

get.  
Bjl

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP63  
TABLAB [blad 1/1]

project  
1203768.018

gez.  
\*)

bijlage  
AA4

form.  
A4

Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Plasticiteit conform RAW		
		van [m - MV]	tot [m - MV]				w <sub>L</sub> [%]	w <sub>P</sub> [%]	I <sub>P</sub> [%]
B01_Dijk28_..	69A	-0.03	-0.13	Klei, zwak zandig, zwak humeus, met wortelresten en ee..			51	25	26
	70A	-1.21	-1.26	Klei, sterk siltig		25.50			
	71B	-2.12	-2.22	Klei, matig siltig, zwak humeus, weinig schelpgruis.			74	32	41
	71A	-2.23	-2.27	Klei, matig siltig		24.75			
	74B	-5.54	-5.64	Klei, matig siltig, zwak humeus			149	59	90
	77A	-7.86	-8.06	Klei, zwak siltig, sterk humeus	12.39				
	77B	-8.06	-8.26	Veen, mineraalarm	11.35				
	77C	-8.26	-8.46	Veen, mineraalarm	11.24				
	79A	-9.68	-9.88	Veen, mineraalarm	10.24				
	79AA	-9.68	-9.73	Veen, zwak kleilig		17.93			
	79B	-9.88	-10.08	Veen, mineraalarm	10.03				
	79C	-10.08	-10.28	Veen, mineraalarm	10.22				
	79D	-10.28	-10.48	Veen, mineraalarm	10.12				
	79E	-10.48	-10.69	Veen, mineraalarm	9.78				

**Deltares**

Postbus 177, 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200  
Telefax 015 261 0821

Homepage:  
www.deltares.nl

datum  
2012-05-01

get.  
Bjl

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin  
TABLAB [blad 1/1]

project  
1203768.018

gez.  
\*)

bijlage  
AA5

form.  
A4

Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
		van [m - MV]	tot [m - MV]		
B02_Dijk20_...	96A	-0.80	-1.00	Veen, mineraalarm	11.58
	96B	-1.00	-1.20	Veen, mineraalarm	11.49
	96C	-1.20	-1.40	Veen, mineraalarm	10.80
	96D	-1.40	-1.60	Veen, mineraalarm	10.68
	96E	-1.60	-1.81	Veen, mineraalarm	10.06
	97A	-1.81	-2.01	Veen, mineraalarm	10.23
	97B	-2.01	-2.21	Veen, mineraalarm	10.66
	97C	-2.21	-2.41	Veen, mineraalarm	11.19
	97D	-2.41	-2.61	Veen, mineraalarm	10.41
	97E	-2.61	-2.82	Veen, mineraalarm	10.74
	98A	-2.82	-3.02	Veen, mineraalarm	9.81
	98B	-3.02	-3.22	Veen, mineraalarm	10.77
	98C	-3.22	-3.42	Veen, mineraalarm	11.01
	98D	-3.42	-3.62	Veen, mineraalarm	9.98
	98E	-3.62	-3.83	Veen, mineraalarm	9.99
	99A	-3.83	-4.03	Veen, mineraalarm	10.18

**Deltares**

Postbus 177, 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200  
Telefax 015 261 0821

Homepage:  
www.deltares.nl

datum  
2012-05-01

get.  
Bjl

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B02\_Dijk20\_DP34\_Bin-teen  
TABLAB [blad 1/1]

project  
1203768.018

gez.  
\*)

bijlage  
AA6

form.  
A4

Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]
		van [m - MV]	tot [m - MV]			
B02_Dijk23_..	119A	-2.14	-2.34	Veen, mineraalarm	10.99	
	119B	-2.34	-2.54	Veen, mineraalarm	10.74	18.69
	119C	-2.54	-2.74	Veen, mineraalarm	11.13	
	119D	-2.74	-2.94	Veen, mineraalarm	11.45	
	119E	-2.94	-3.15	Veen, mineraalarm	10.93	
	120A	-3.15	-3.41	Veen, mineraalarm	10.88	
	120B	-3.41	-3.55	Veen, mineraalarm	10.15	
	120C	-3.55	-3.75	Veen, mineraalarm	9.70	
	120D	-3.75	-3.95	Veen, mineraalarm	10.06	
	120E	-3.95	-4.16	Veen, mineraalarm	9.78	
	121A	-4.16	-4.36	Veen, mineraalarm	9.67	

**Deltares**

Postbus 177, 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200  
Telefax 015 261 0821

Homepage:  
[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)

datum  
2012-05-01

get.  
Bjl

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm  
TABLAB [blad 1/1]

project  
1203768.018

gez.  
\*)

bijlage  
AA7

form.  
A4

Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
		van [m - MV]	tot [m - MV]		
B02_Dijk28_...	88A	-4.29	-4.49	Veen, mineraalarm	11.07
	88B	-4.49	-4.69	Veen, mineraalarm	11.33
	88C	-4.69	-4.90	Veen, mineraalarm	10.76
	89A	-4.90	-5.10	Veen, mineraalarm	10.94
	89B	-5.10	-5.30	Veen, mineraalarm	10.03
	89C	-5.30	-5.50	Veen, mineraalarm	10.18
	89D	-5.50	-5.70	Veen, mineraalarm	9.91
	89E	-5.70	-5.91	Veen, mineraalarm	10.11
	90A	-5.91	-6.11	Veen, mineraalarm	10.06
	90B	-6.11	-6.31	Veen, mineraalarm	10.49
	90C	-6.31	-6.51	Veen, mineraalarm	10.01
	90D	-6.51	-6.71	Veen, mineraalarm	9.99
	90E	-6.71	-6.92	Veen, mineraalarm	9.93
	91A	-7.27	-7.47	Veen, mineraalarm	10.03

**Deltares**

Postbus 177, 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200  
Telefax 015 261 0821

Homepage:  
[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)

datum  
2012-05-01

get.  
Bjl

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B02\_Dijk28\_DP134\_Middenberm  
TABLAB [blad 1/1]

project  
1203768.018

gez.  
\*)

bijlage  
AA8

form.  
A4

Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]
		van [m - MV]	tot [m - MV]			
B02_Dijk28_..	63A	-4.24	-4.44	Veen, mineraalarm	10.26	
	63AB	-4.29	-4.34	Veen, mineraalarm		15.72
	63B	-4.44	-4.65	Veen, mineraalarm	11.08	

**Deltares**

Postbus 177, 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200  
Telefax 015 261 0821

Homepage:  
[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)

datum  
2012-05-03

get.  
Bjl

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B02\_Dijk28\_DP63\_Achterland  
TABLAB [blad 1/1]

project  
1203768.018

gez.  
\*)

bijlage  
AA9

form.  
A4



Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]
		van [m - MV]	tot [m - MV]			
B03_Dijk28_..	105A	-1.02	-1.23	Veen, mineraalarm	11.04	
	105B	-1.23	-1.49	Veen, mineraalarm	9.89	14.05
	106A	-1.49	-1.69	Veen, mineraalarm	10.44	
	106B	-1.69	-1.89	Veen, mineraalarm	9.48	
	106C	-1.89	-2.09	Veen, mineraalarm	10.14	
	106D	-2.09	-2.29	Veen, mineraalarm	10.33	
	106E	-2.29	-2.50	Veen, mineraalarm	10.44	
	107A	-2.50	-2.70	Veen, mineraalarm	9.65	
	107B	-2.70	-2.90	Veen, mineraalarm	9.61	
	107C	-2.90	-3.10	Veen, mineraalarm	9.65	
	107D	-3.10	-3.30	Veen, mineraalarm	9.34	
	107E	-3.30	-3.51	Veen, mineraalarm	10.36	
	108A	-3.51	-3.71	Veen, mineraalarm	9.60	
	108B	-3.71	-3.91	Veen, mineraalarm	9.95	
	108C	-3.91	-4.11	Veen, mineraalarm	9.57	17.40
	108D	-4.11	-4.31	Veen, mineraalarm	9.90	
	108E	-4.31	-4.52	Veen, mineraalarm	10.22	
	109A	-4.52	-4.72	Veen, mineraalarm	10.33	

**Deltares**

Postbus 177, 2600 MH Delft  
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200  
Telefax 015 261 0821

Homepage:  
[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)

datum  
2012-05-01

get.  
Bjl

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland  
TABLAB [blad 1/1]

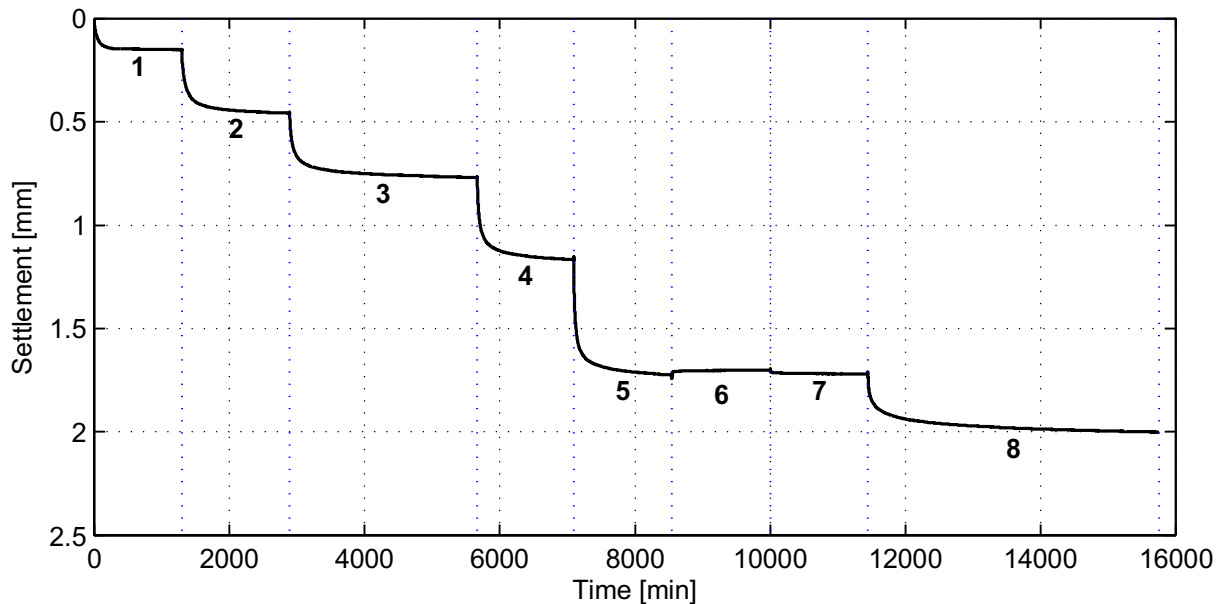
project  
1203768.018

gez.  
\*)

bijlage  
AA10

form.  
A4

## **C Samendrukkingsproeven**



### General soil and test parameters

Soil description (NEN 5104)	Ks2; enkele zandinsluitingen.
Initial volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	15.4
Initial volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	9.0
Volumetric weight particles [kN/m <sup>3</sup> ]	25.8
Initial water content [%]	69.8
Initial sample height [mm]	20
Initial sample diameter [mm]	63
Initial saturation [-]	1.0
Final volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	16.0
Final volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	10.1
Final water content [%]	58.2
Final saturation [-]	1.0
Type of test (wet/dry)	Wet
Visual disturbance sample	disturbed
Startdate	2012-04-12
Enddate	2012-04-23
Sample disturbance index	3.7, good
Lab temperature [° C]	20.4
Pc <sub>Becker</sub> [kPa]	18.6
Pc <sub>Janbu</sub> [kPa]	-

Load step number	Load [kPa]
1	4
2	10
3	19
4	39
5	78
6	18
7	37
8	77

References:  
 Isotachenparameters: CUR recommendation 101  
 Pc Becker: Becker et al. (1987)  
 Pc Janbu: Janbu (1969)  
 Sample disturbance index: Lunne et al (2006)

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 2A, depth 2.47 m till 2.43 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

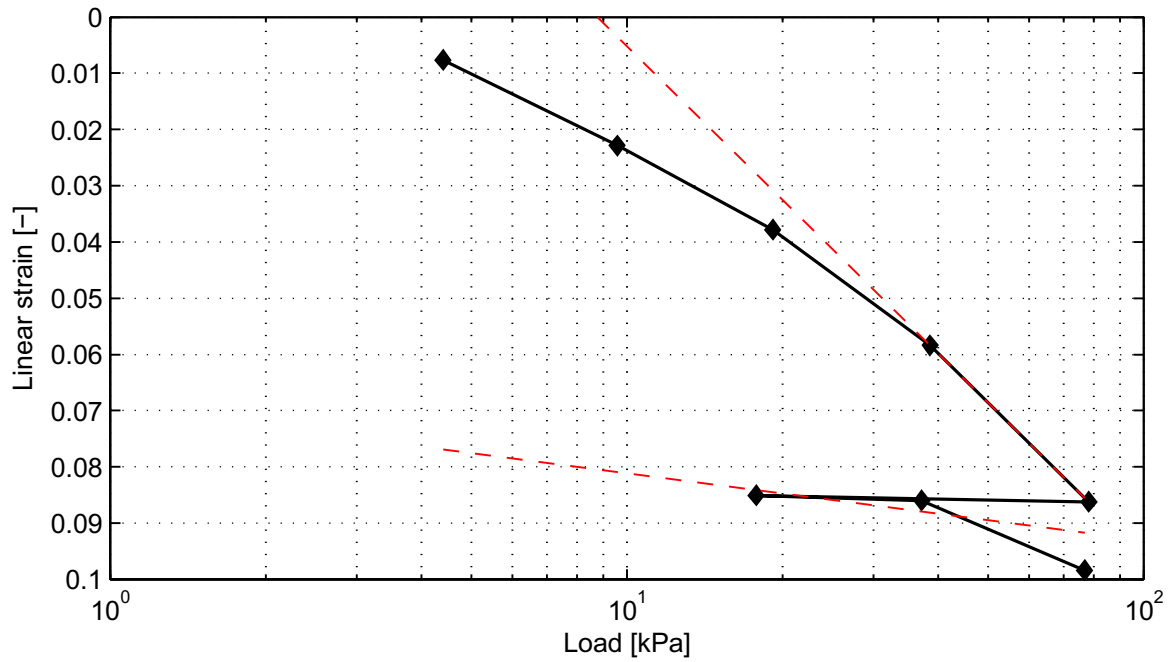
project  
 1203768.18

seen  
 -

appendix  
 SA2A

page  
 1

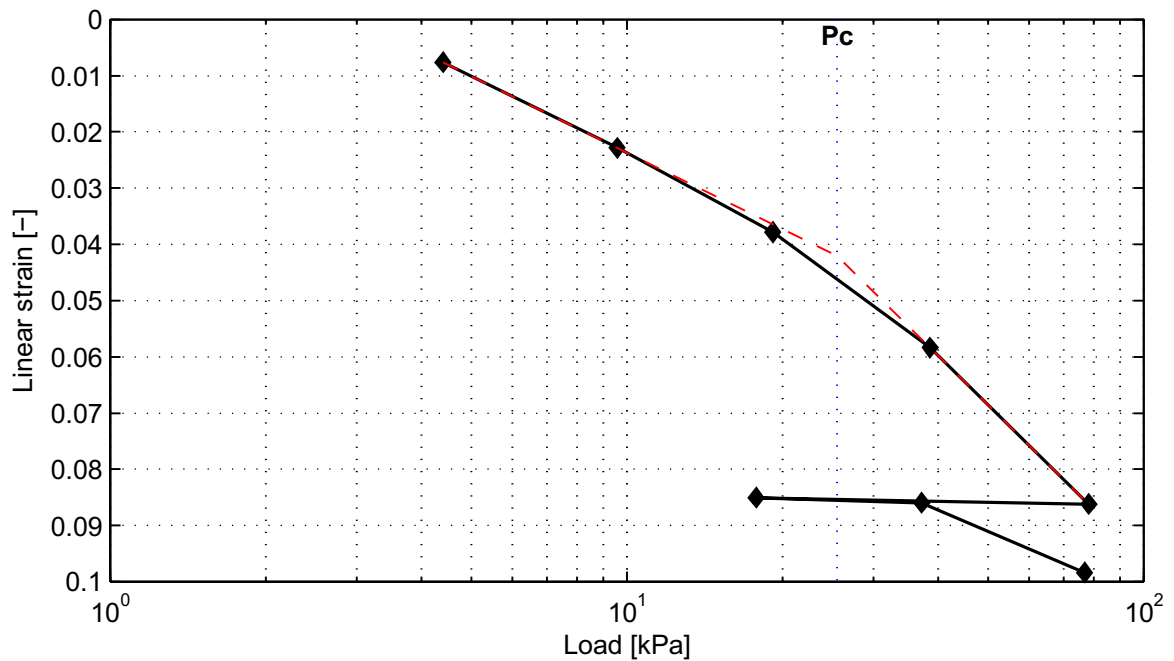
### NEN-Bjerrum method



RR = 1.2e-002  
CR = 9.1e-002

Ca = 3.3e-003

Vo = 2.85



Pc = 25.5 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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 2A, depth 2.47 m till 2.43 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

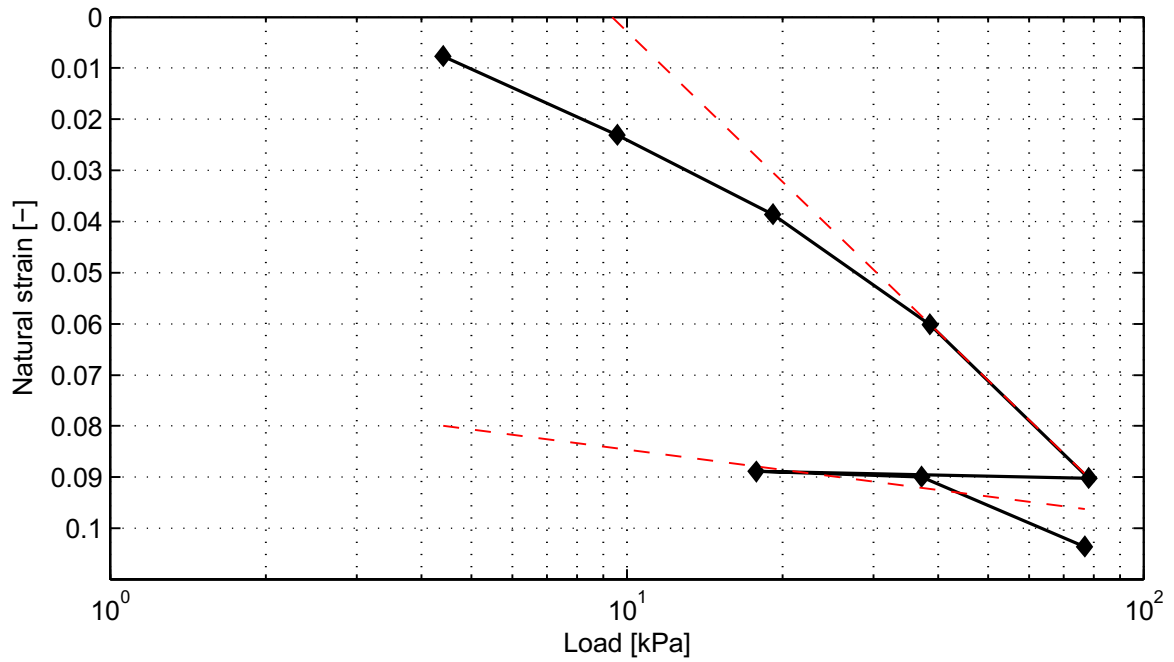
seen  
-

appendix  
SA2A

page  
2

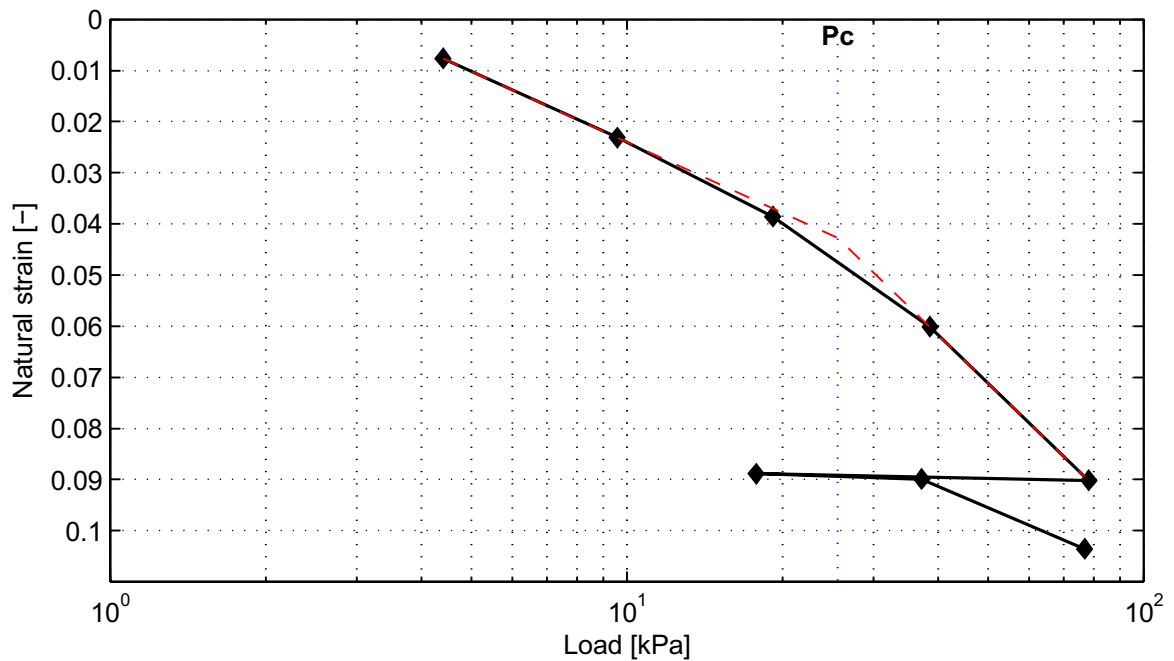
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:02

### Isotachen method



A = 5.7e-003  
B = 4.2e-002

C = 1.5e-003



Pc = 25.6 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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 2A, depth 2.47 m till 2.43 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

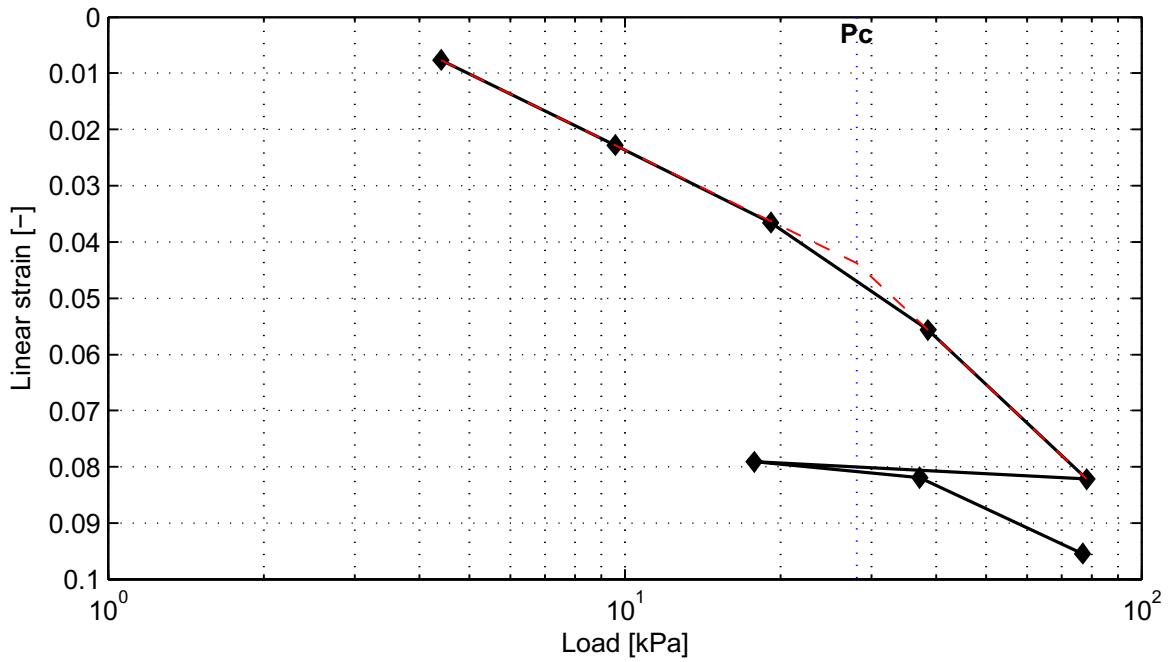
Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA2A

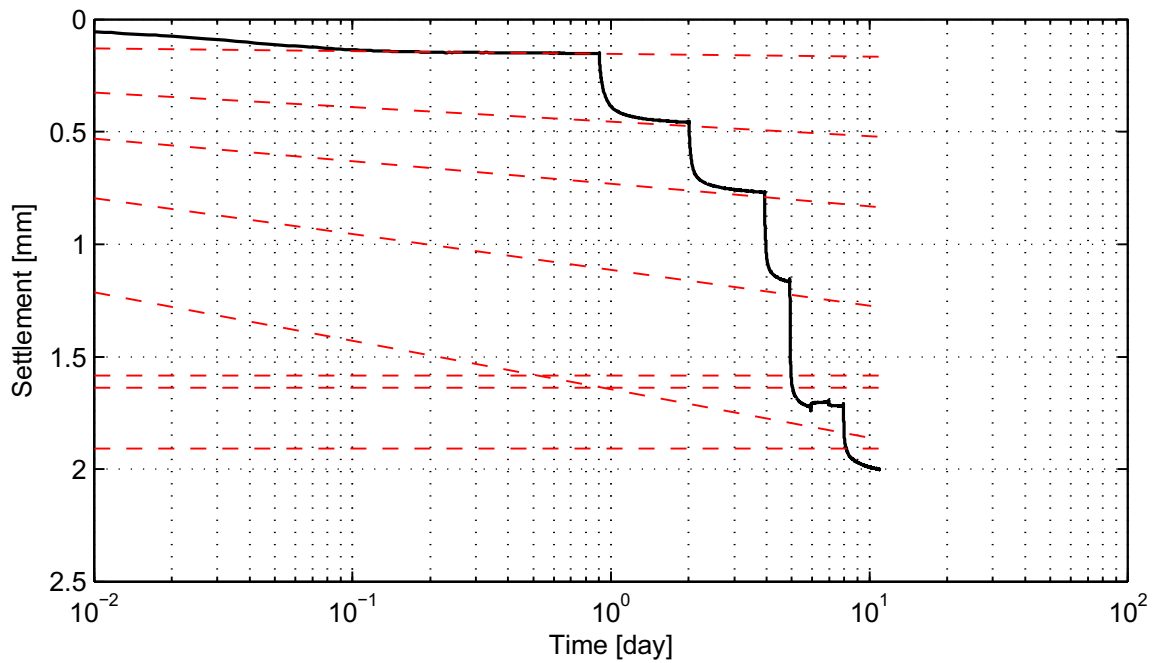
page  
3

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:02

### Koppejan method



$C_p = 5.1e+001$        $C_s = 2.9e+002$        $C = 3.0e+001$   
 $C_{p'} = 2.7e+001$        $C_{s'} = 2.5e+002$        $C' = 1.9e+001$   
 $P_{c'} = 28.1 \text{ kPa}$



$C_p = 5.1e+001$        $C_s = 2.9e+002$        $C = 3.0e+001$   
 $C_{p'} = 2.7e+001$        $C_{s'} = 2.5e+002$        $C' = 1.9e+001$   
 $P_{c'} = 28.1 \text{ kPa}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 2A, depth 2.47 m till 2.43 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

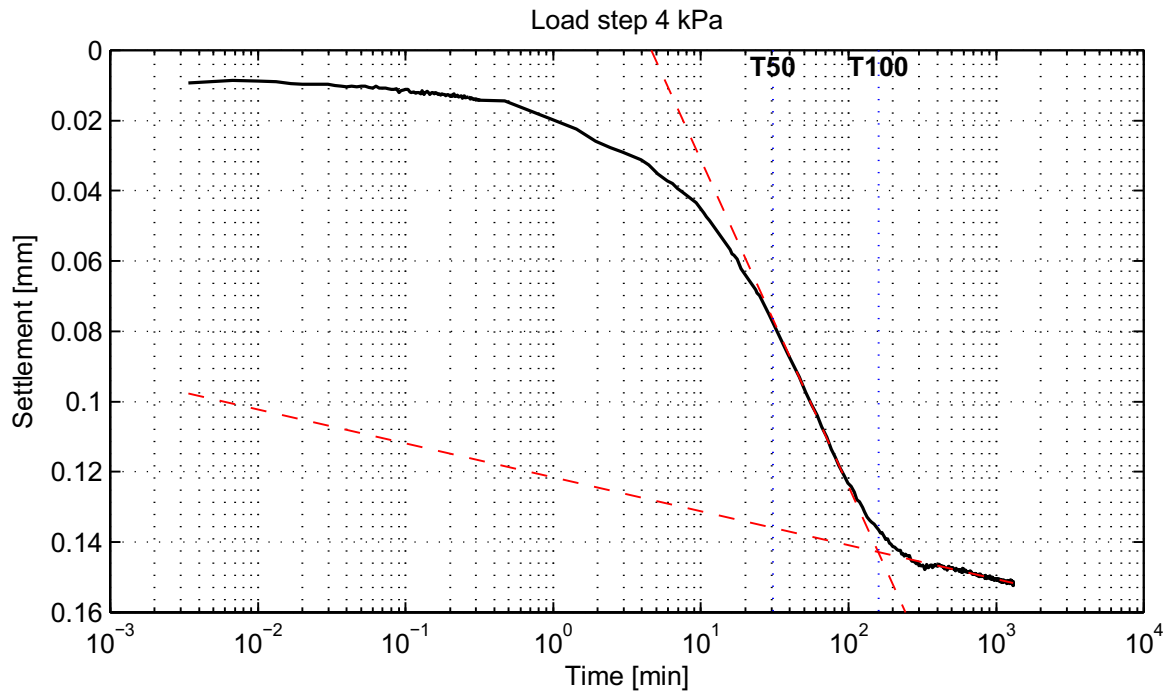
Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA2A

page  
4

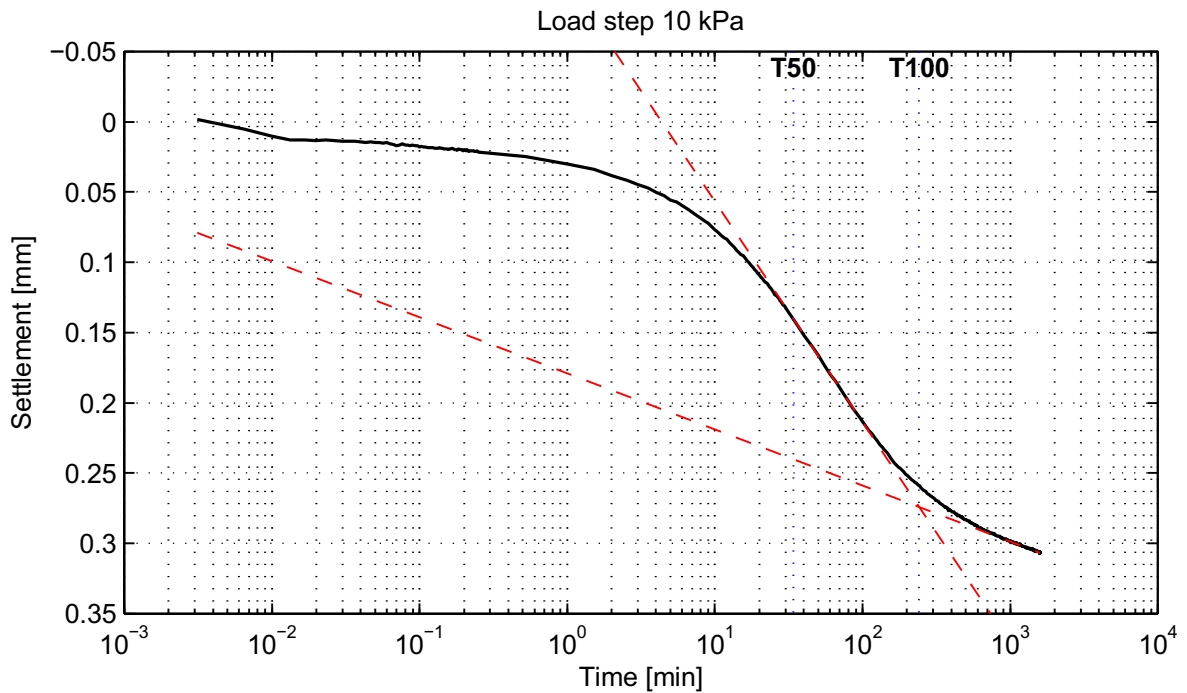
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:02

## Casagrande method (page 1/4)



$C_v = 8.1e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 1.5e-003 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.2e-010 \text{ m/s}$



$C_v = 7.2e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 2.6e-003 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.8e-010 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 2A, depth 2.47 m till 2.43 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

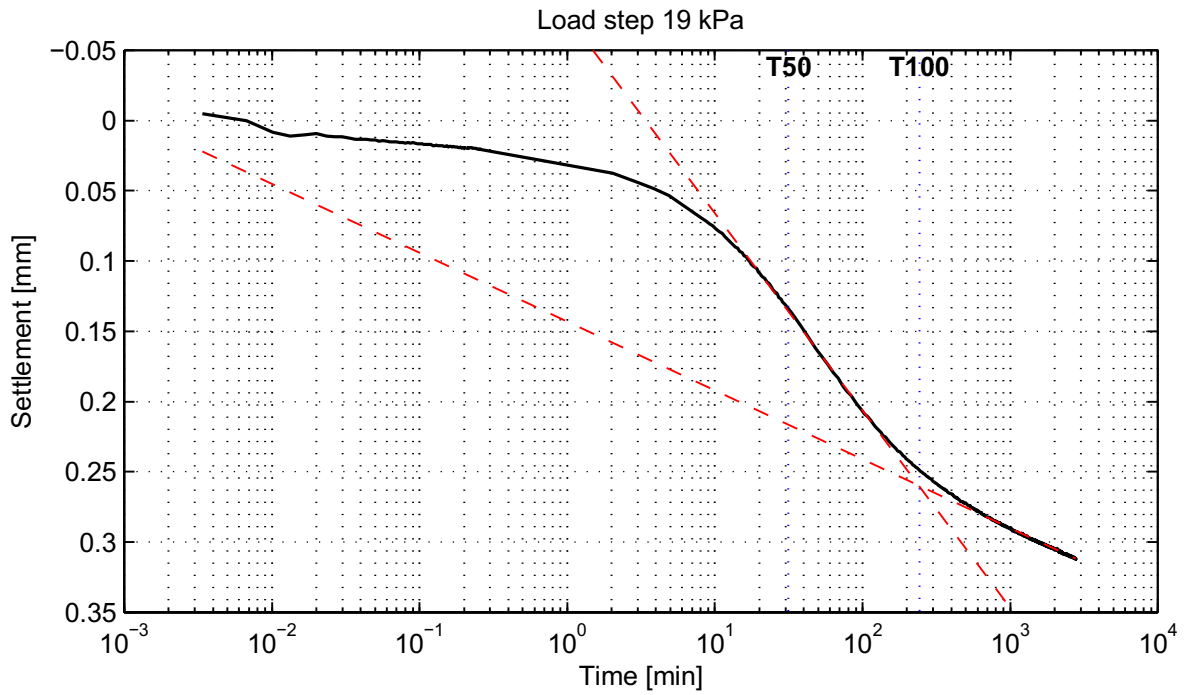
project  
 1203768.18

seen  
 -

appendix  
 SA2A

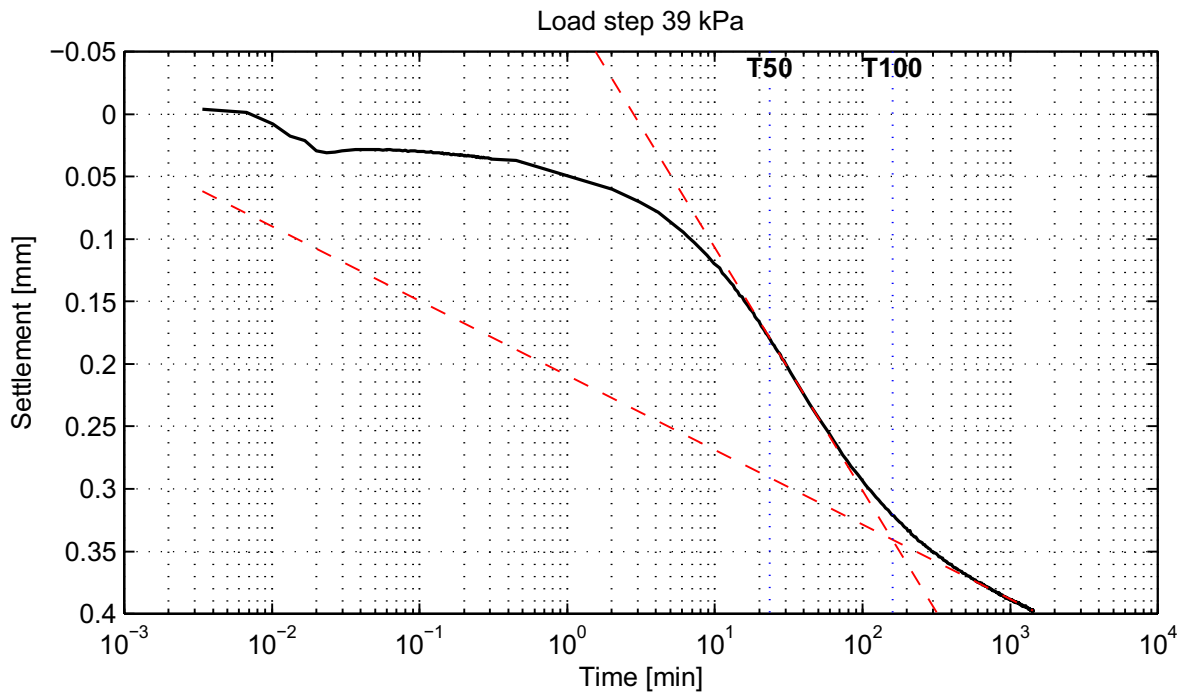
page  
 5

## Casagrande method (page 2/4)



$C_v = 7.5e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 1.3e-003 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 9.9e-011 \text{ m/s}$



$C_v = 9.7e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 3.1e-003$

$M_v = 8.6e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 8.2e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 2A, depth 2.47 m till 2.43 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

seen  
 -

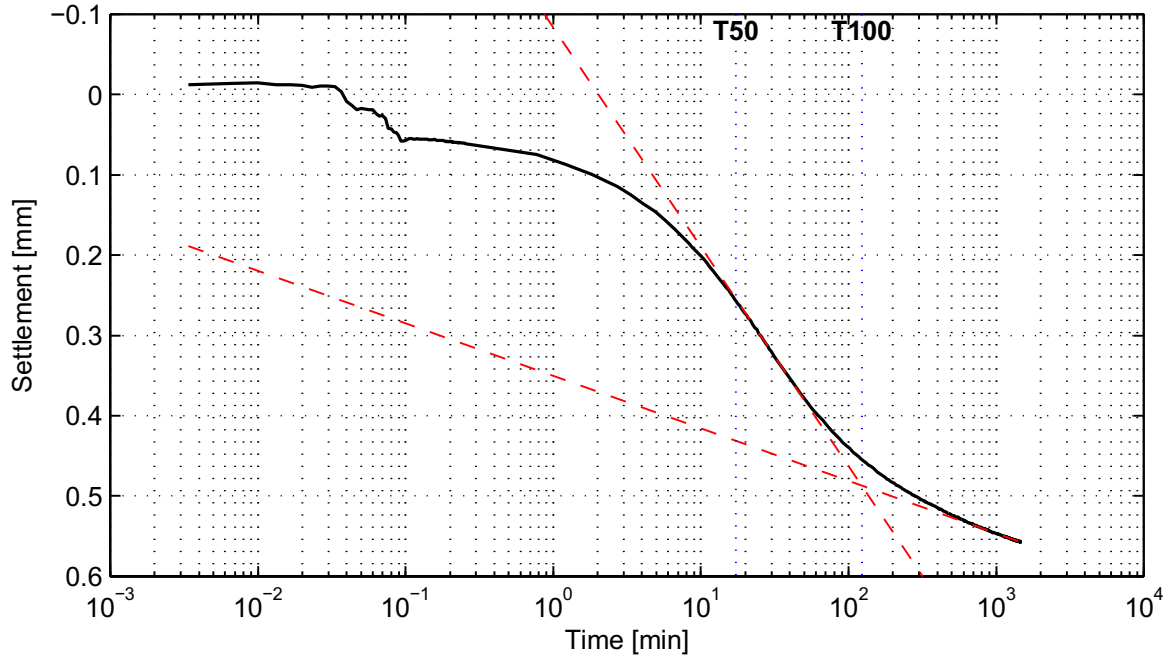
appendix  
 SA2A

page  
 6



### Casagrande method (page 3/4)

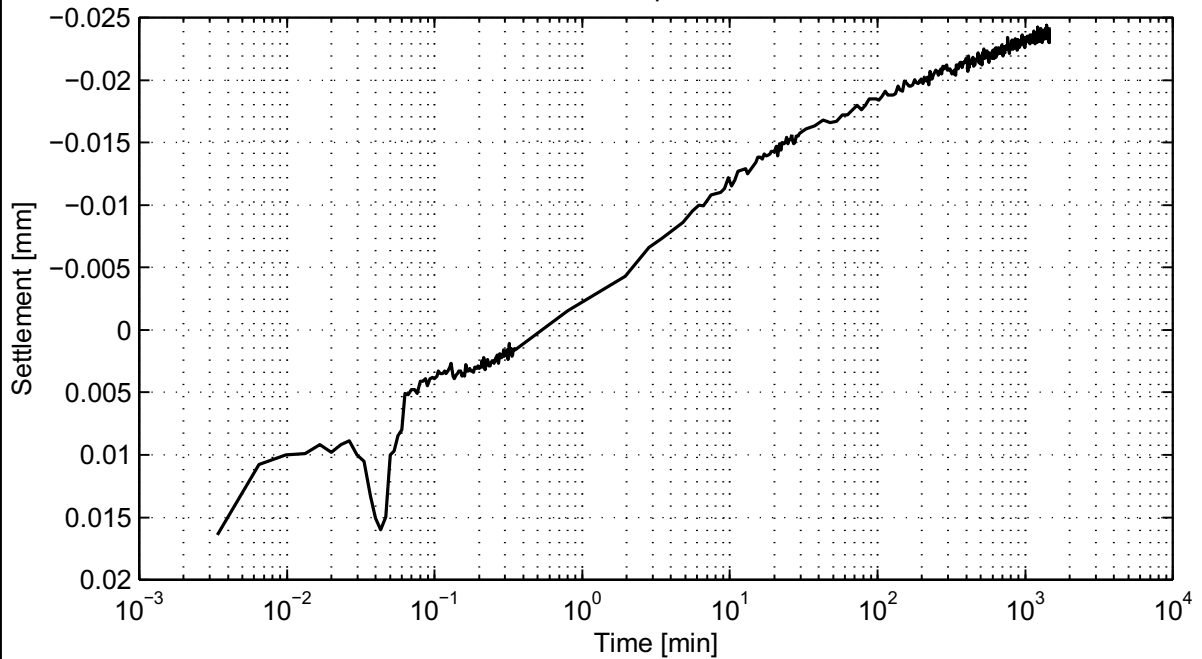
Load step 78 kPa



$C_v = 1.3e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 3.5e-003$

$M_v = 6.2e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 7.6e-011 \text{ m/s}$

Load step 18 kPa



No calculation performed.

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 2A, depth 2.47 m till 2.43 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

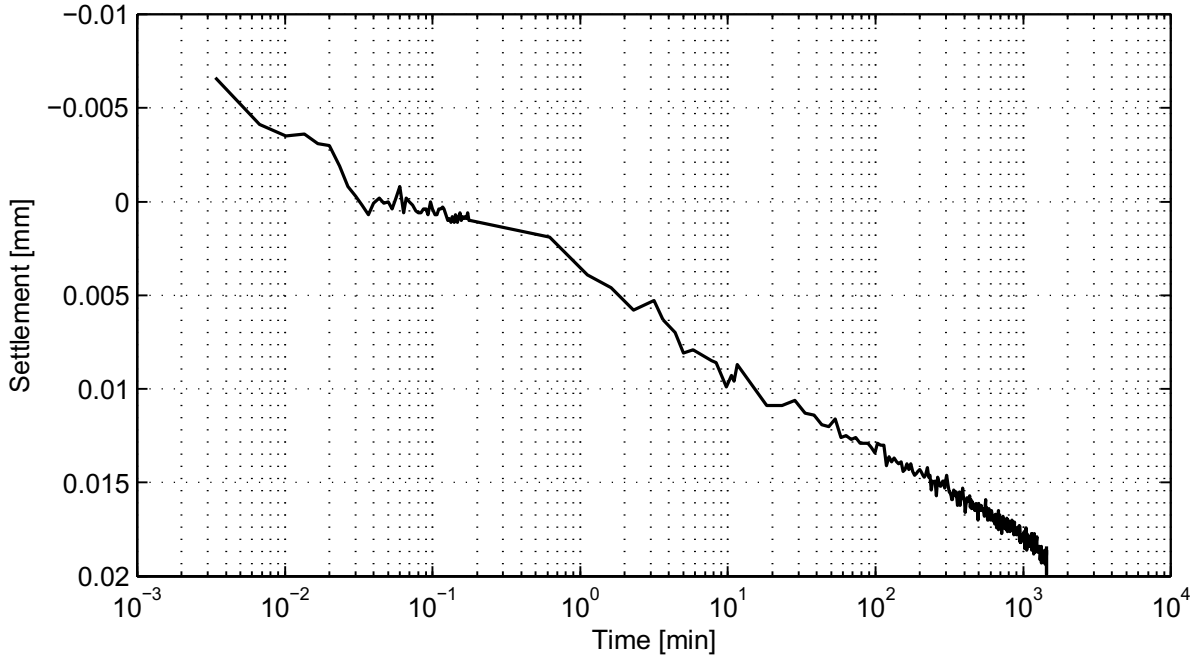
seen  
 -

appendix  
 SA2A

page  
 7

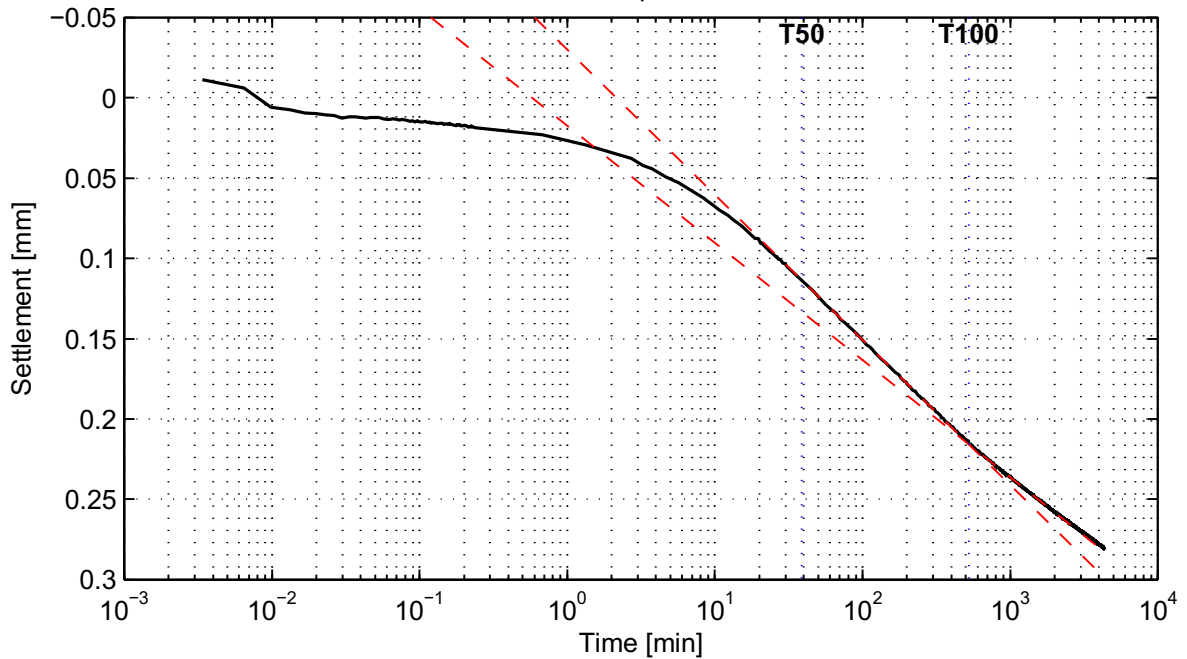
### Casagrande method (page 4/4)

Load step 37 kPa



No calculation performed.

Load step 77 kPa



$C_v = 5.4e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 2.8e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.5e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 2A, depth 2.47 m till 2.43 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

seen  
 -

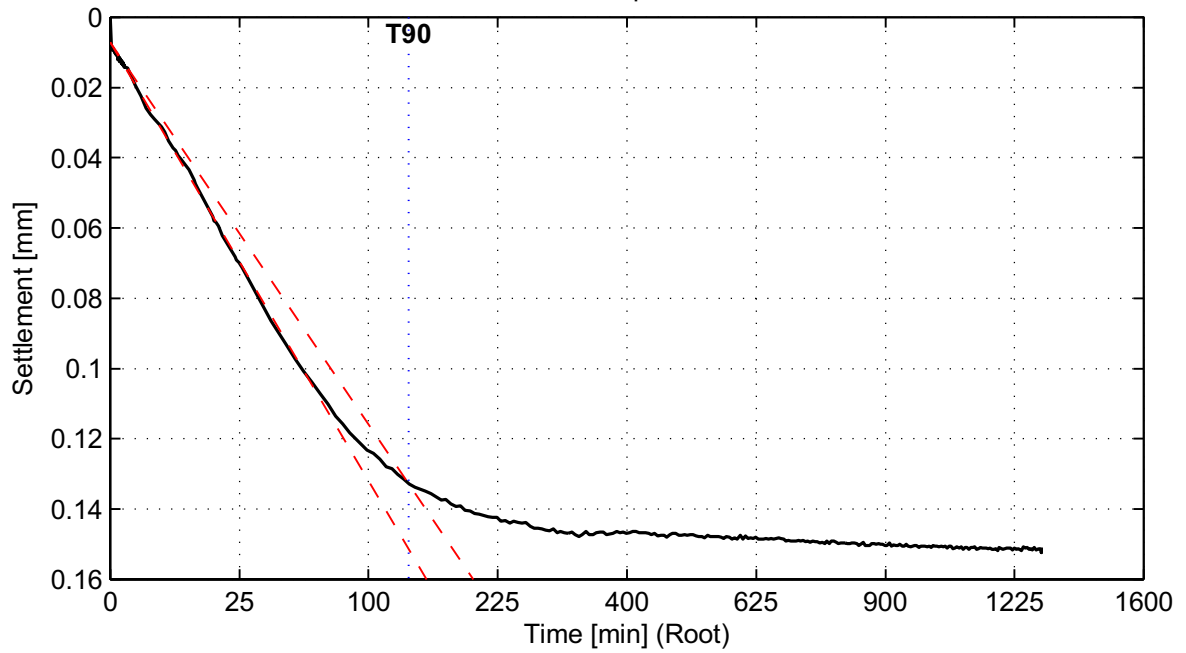
appendix  
 SA2A

page  
 8

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:02

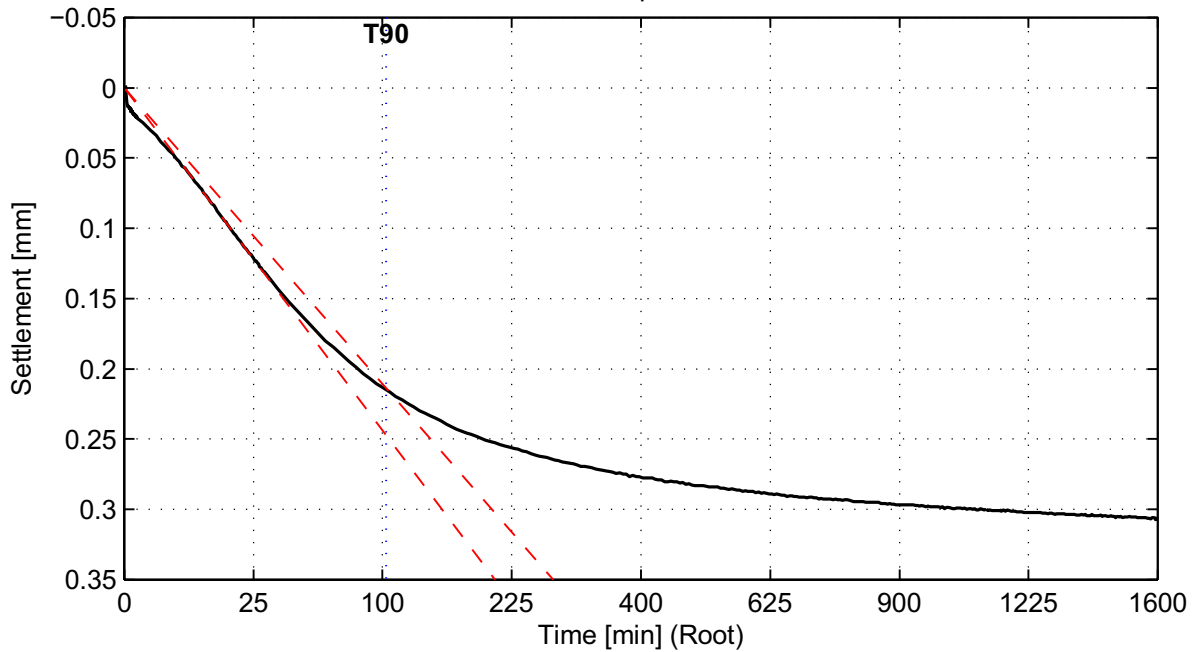
## Taylor method (page 1/4)

Load step 4 kPa



$C_v = 8.0e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 10 kPa



$C_v = 1.0e-008 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 2A, depth 2.47 m till 2.43 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

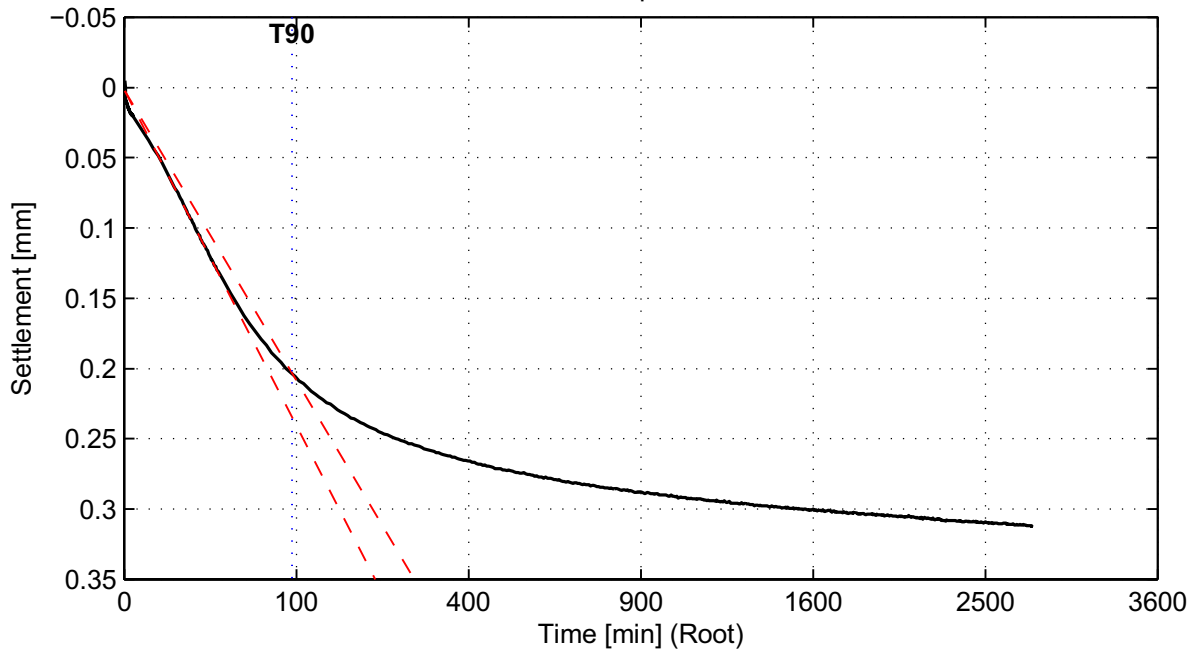
appendix  
SA2A

page  
9

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:02

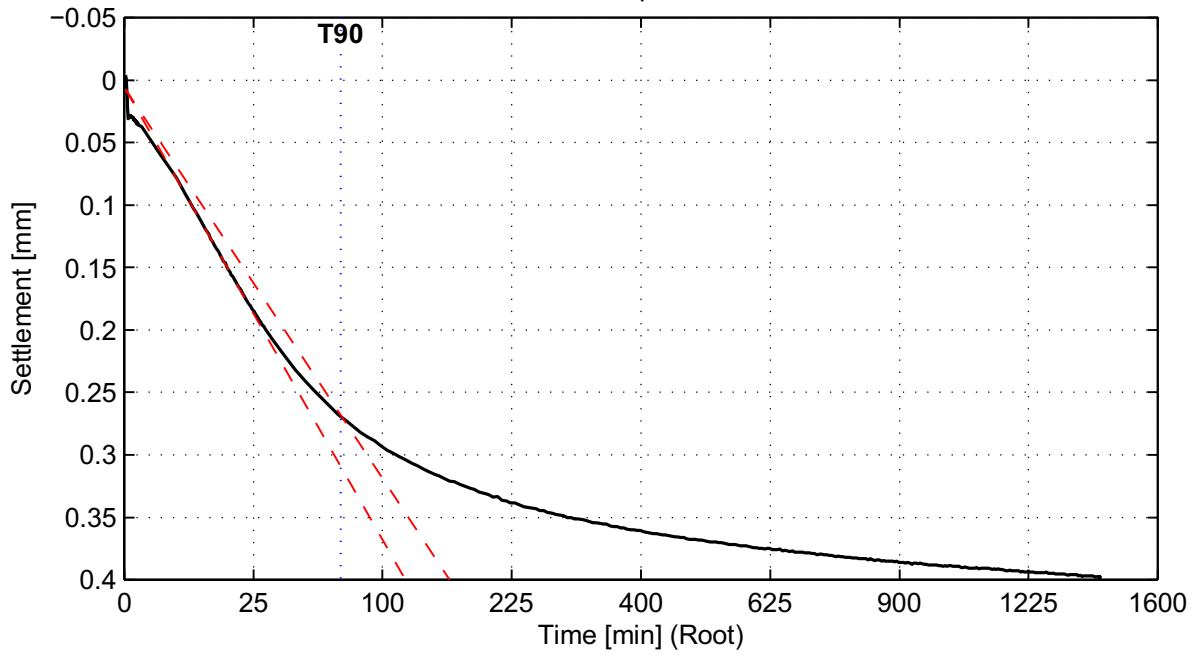
## Taylor method (page 2/4)

Load step 19 kPa



$C_v = 1.1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 39 kPa



$C_v = 1.4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 2A, depth 2.47 m till 2.43 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

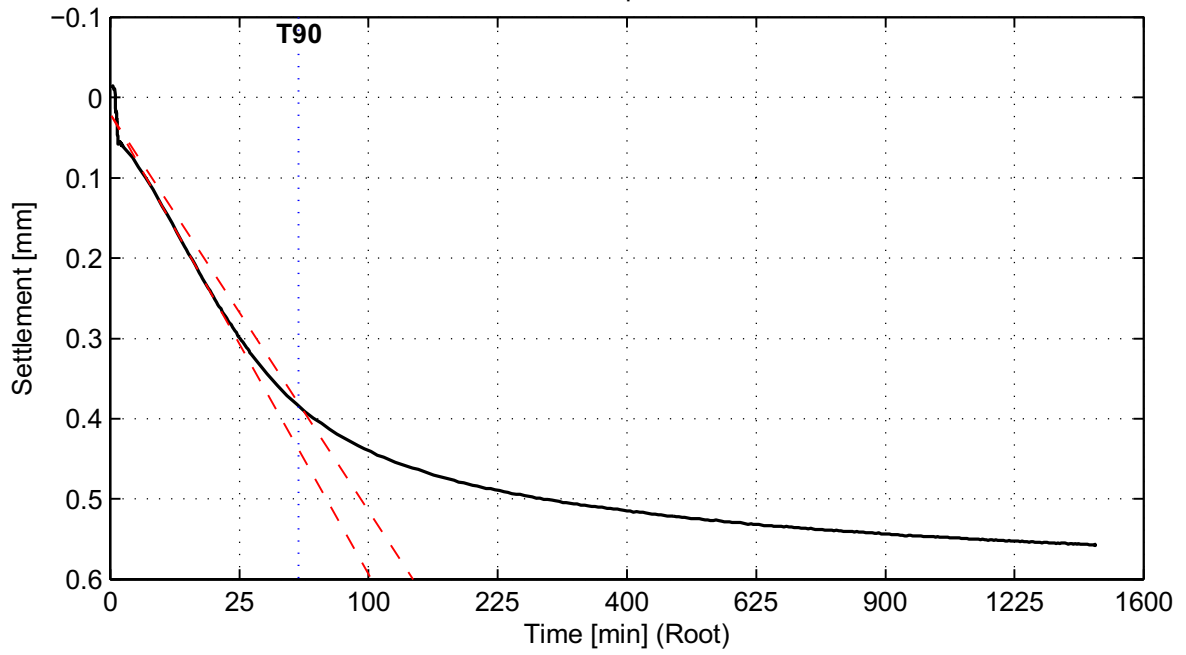
seen  
-

appendix  
SA2A

page  
10

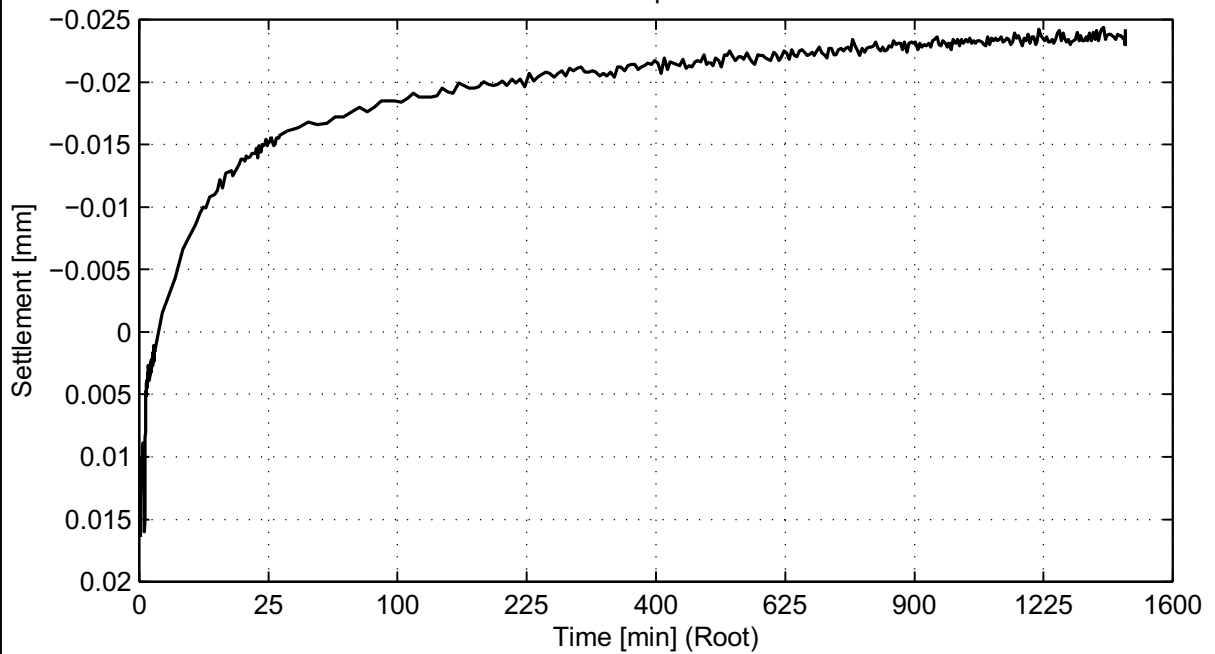
## Taylor method (page 3/4)

Load step 78 kPa



$C_v = 1.7e-008 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 18 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 2A, depth 2.47 m till 2.43 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

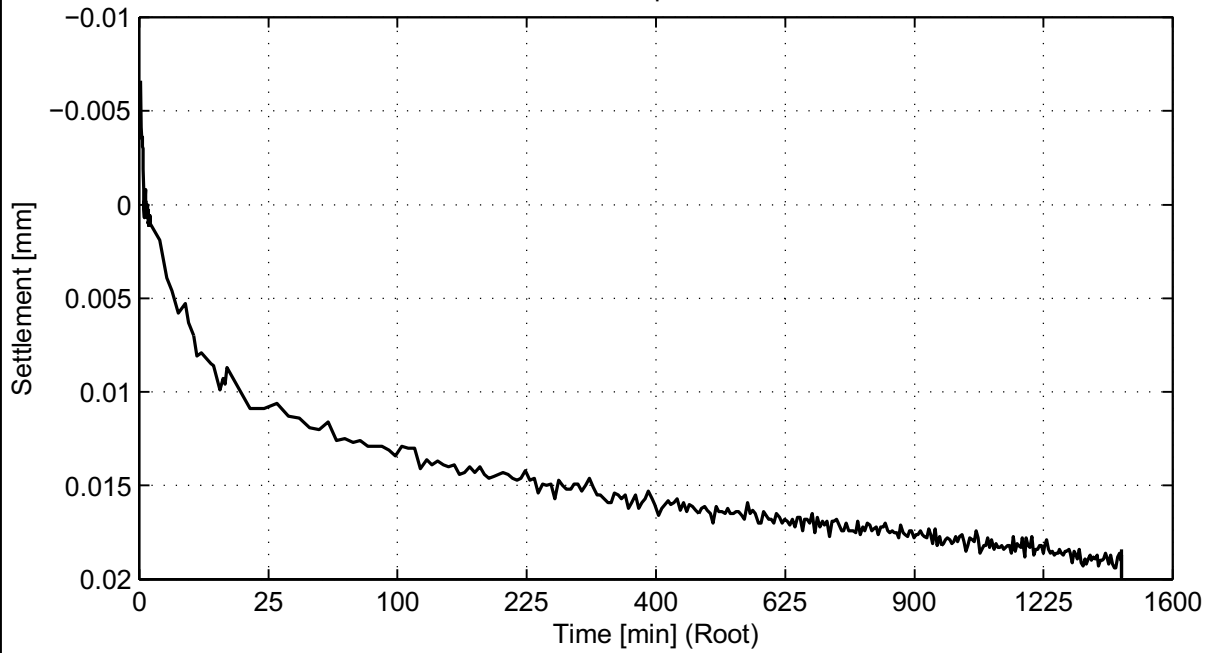
appendix  
SA2A

page  
11

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:02

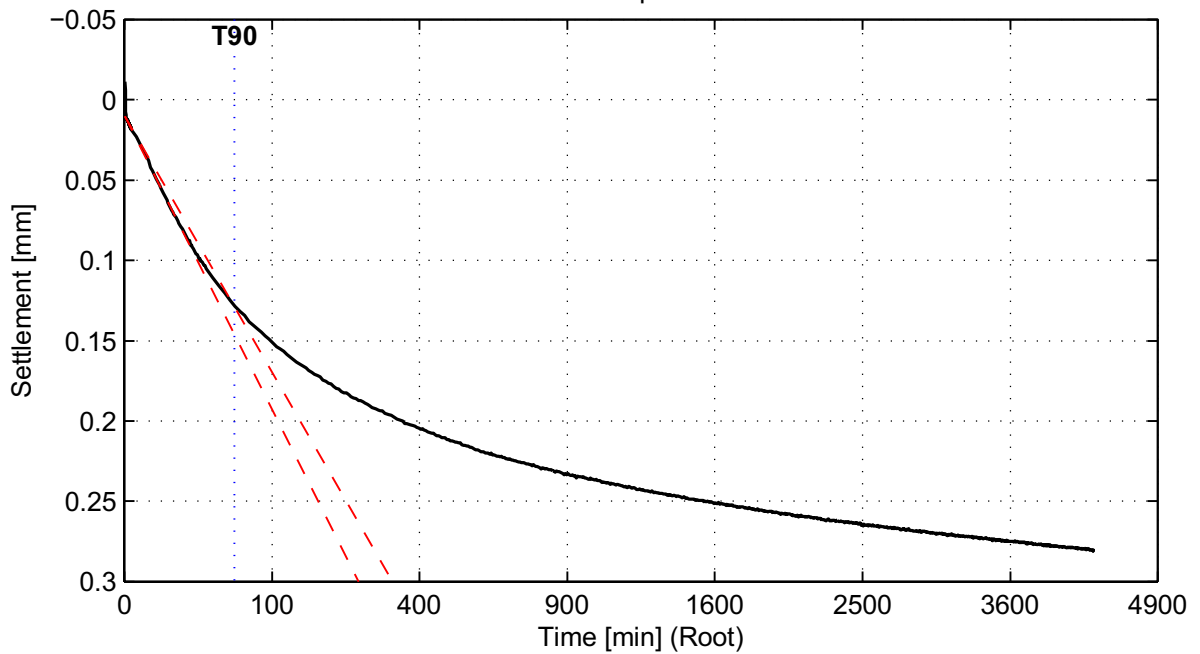
### Taylor method (page 4/4)

Load step 37 kPa



No calculation performed.

Load step 77 kPa



$C_v = 1.6 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 2A, depth 2.47 m till 2.43 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

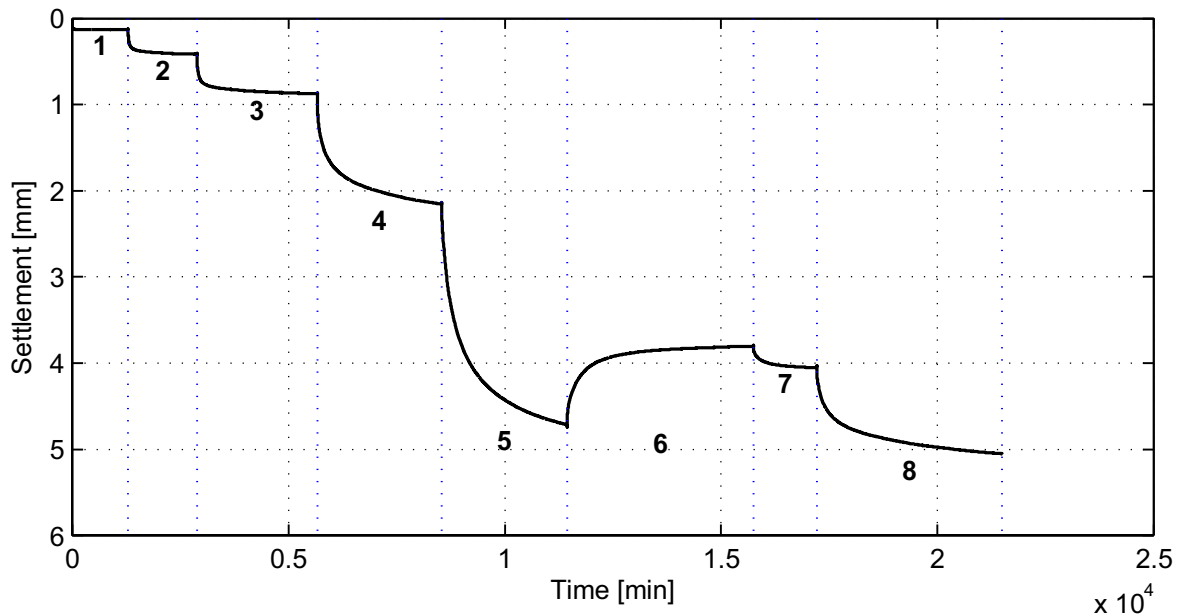
project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
SA2A

page  
12

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:02



### General soil and test parameters

Soil description (NEN 5104)	Vm
Initial volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	12.3
Initial volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	5.1
Volumetric weight particles [kN/m <sup>3</sup> ]	21.3
Initial water content [%]	140.5
Initial sample height [mm]	20
Initial sample diameter [mm]	63
Initial saturation [-]	1.0
Final volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	13.3
Final volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	6.1
Final water content [%]	117.9
Final saturation [-]	1.0
Type of test (wet/dry)	Wet
Visual disturbance sample	undisturbed
Startdate	2012-04-12
Enddate	2012-04-27
Sample disturbance index	3.6, good
Lab temperature [° C]	20.5
Pc <sub>Becker</sub> [kPa]	112.2
Pc <sub>Janbu</sub> [kPa]	-

Load step number	Load [kPa]
1	20
2	39
3	79
4	160
5	320
6	80
7	160
8	320

References:  
 Isotachenparameters: CUR recommendation 101  
 Pc Becker: Becker et al. (1987)  
 Pc Janbu: Janbu (1969)  
 Sample disturbance index: Lunne et al (2006)

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 9EA, depth -4.44 m till -4.48 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

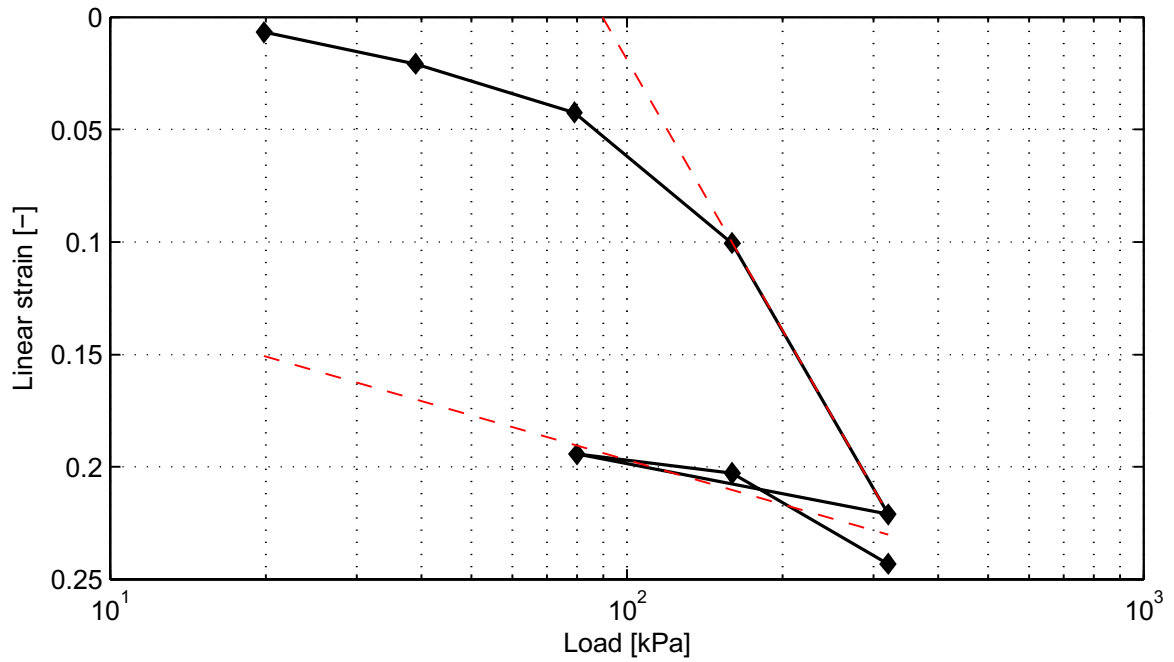
project  
 1203768.18

appendix  
 SA9EA

seen  
 -

page  
 1

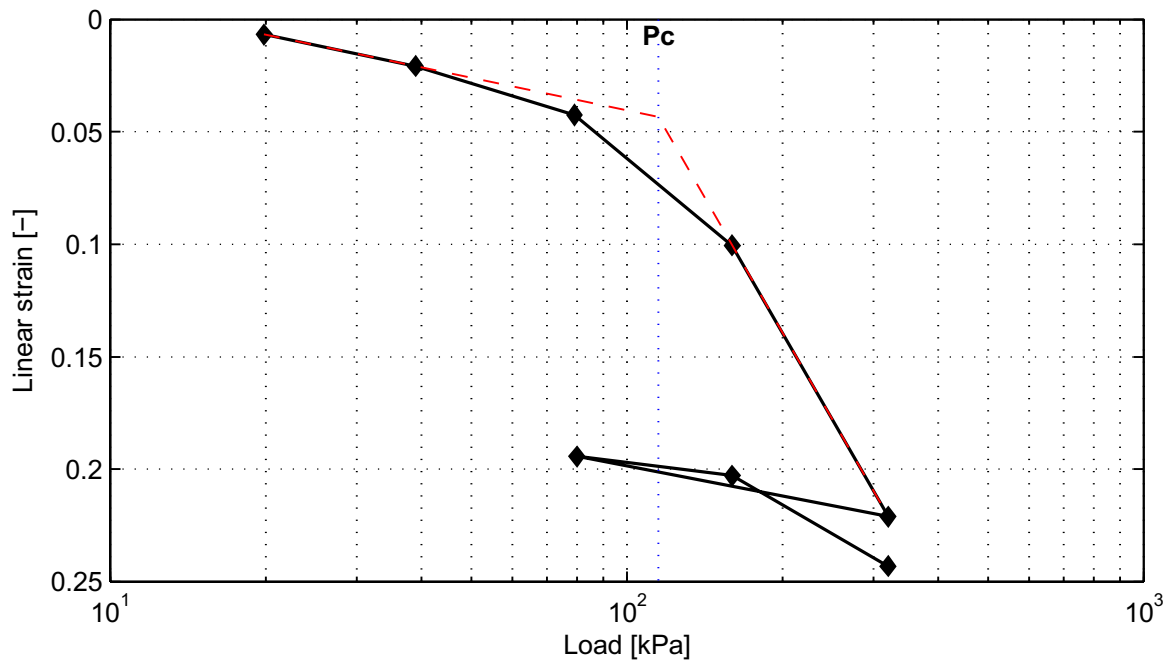
### NEN-Bjerrum method



RR = 6.6e-002  
CR = 4.0e-001

Ca = 3.7e-002

Vo = 4.18



Pc = 115.0 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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 9EA, depth -4.44 m till -4.48 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

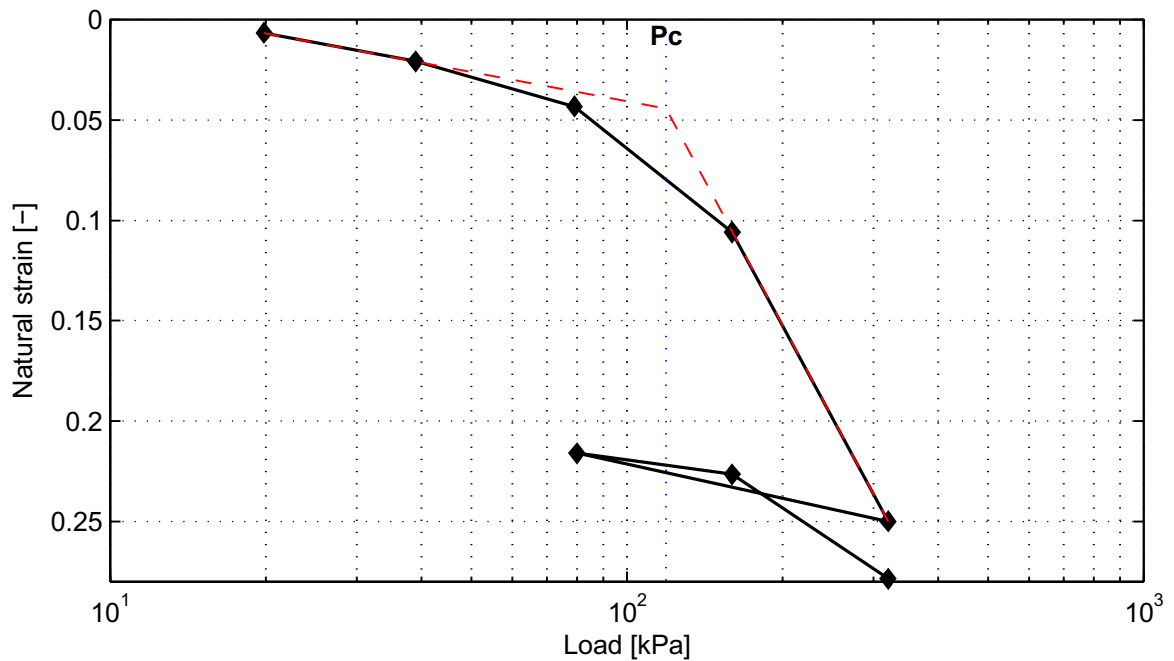
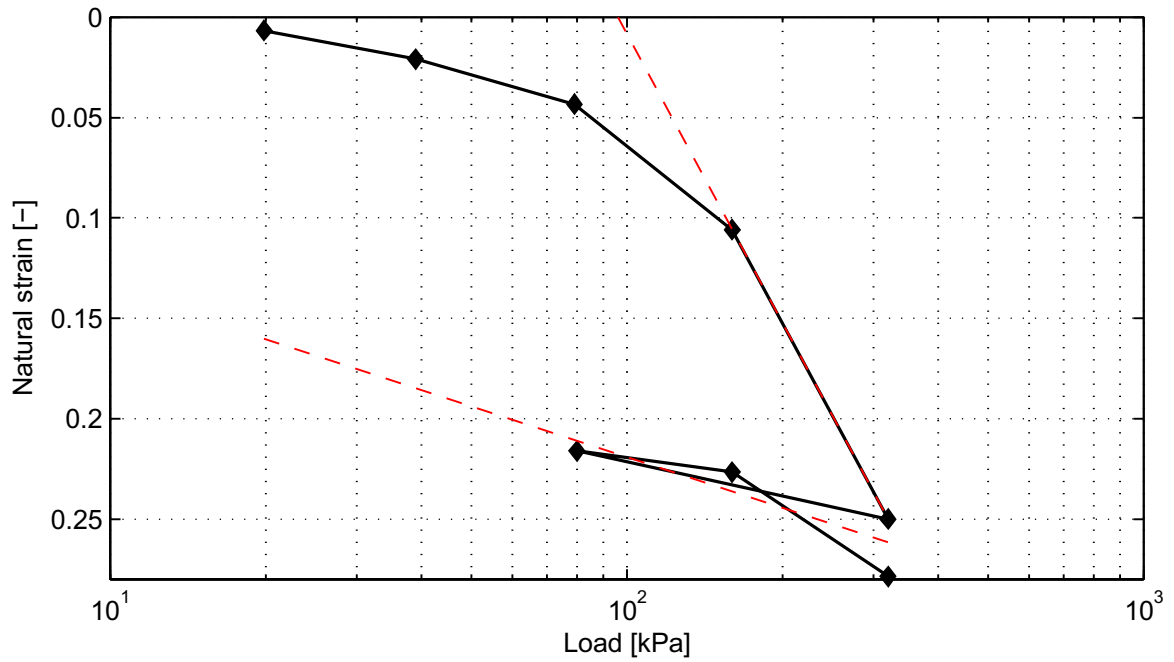
project  
1203768.18  
appendix  
SA9EA

seen  
-  
page  
2

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:41



### Isotachen method



**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  
2012-05-07

signed  
ess

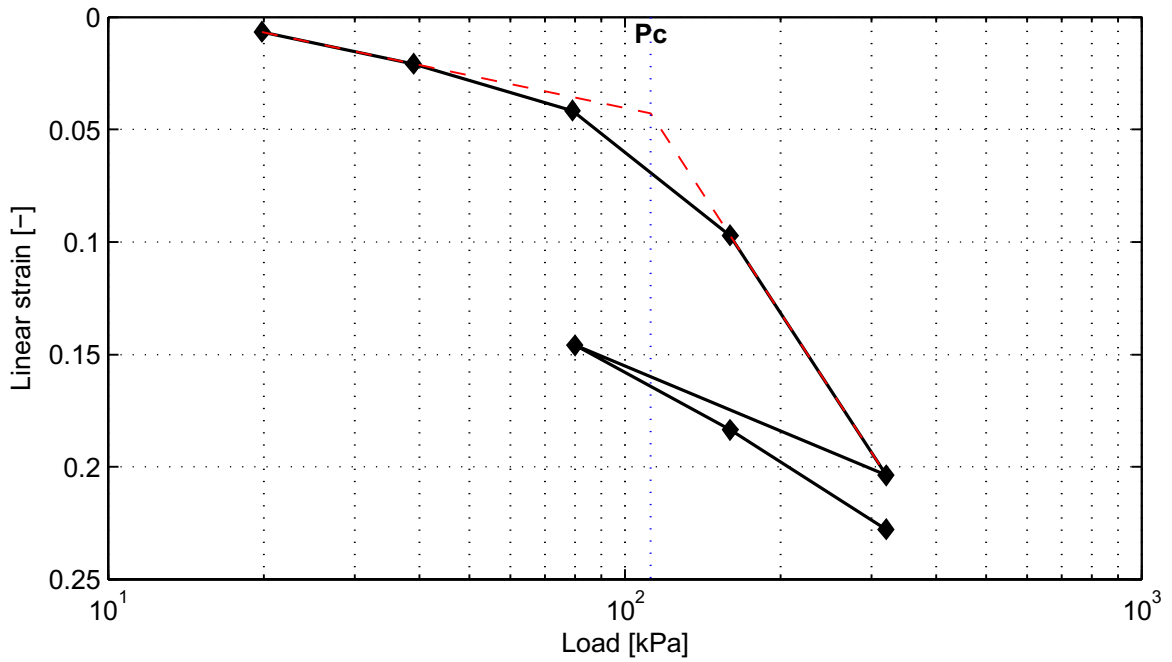
Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 9EA, depth -4.44 m till -4.48 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18  
appendix  
SA9EA

seen  
-  
page  
3

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:41

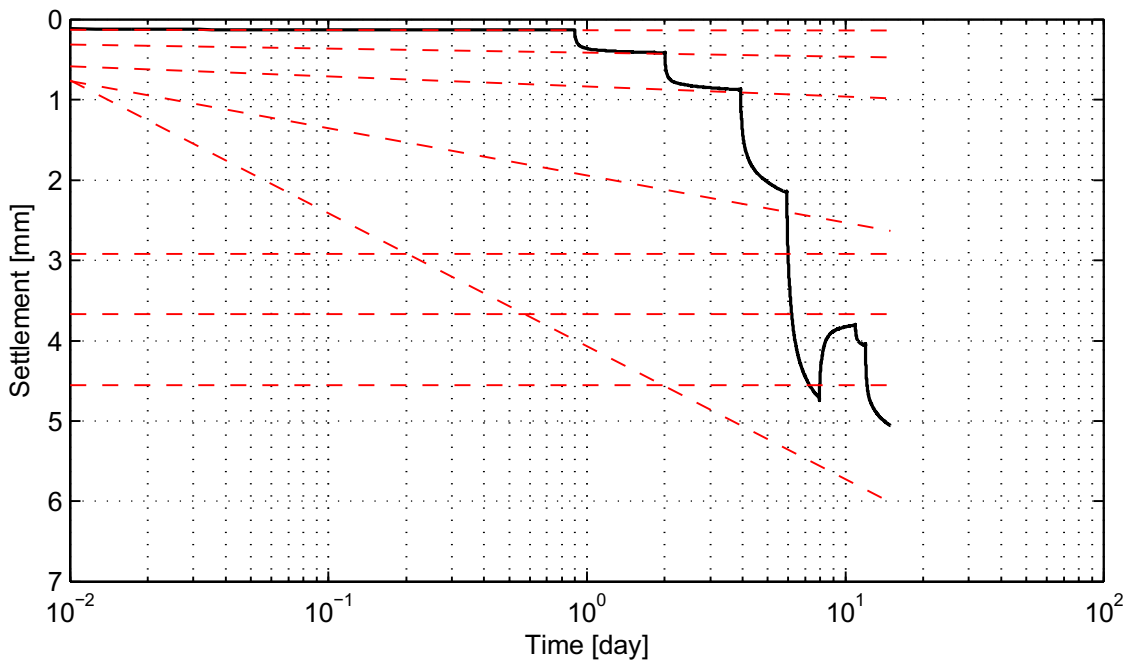
### Koppejan method



Cp = 4.8e+001  
Cp' = 6.5e+000

Cs = 2.8e+002  
Cs' = 1.3e+001

C = 2.8e+001  
C' = 2.2e+000  
Pc' = 112.2 kPa



Cp = 4.8e+001  
Cp' = 6.5e+000

Cs = 2.8e+002  
Cs' = 1.3e+001

C = 2.8e+001  
C' = 2.2e+000  
Pc' = 112.2 kPa

**Deltares**

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

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

date  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 9EA, depth -4.44 m till -4.48 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

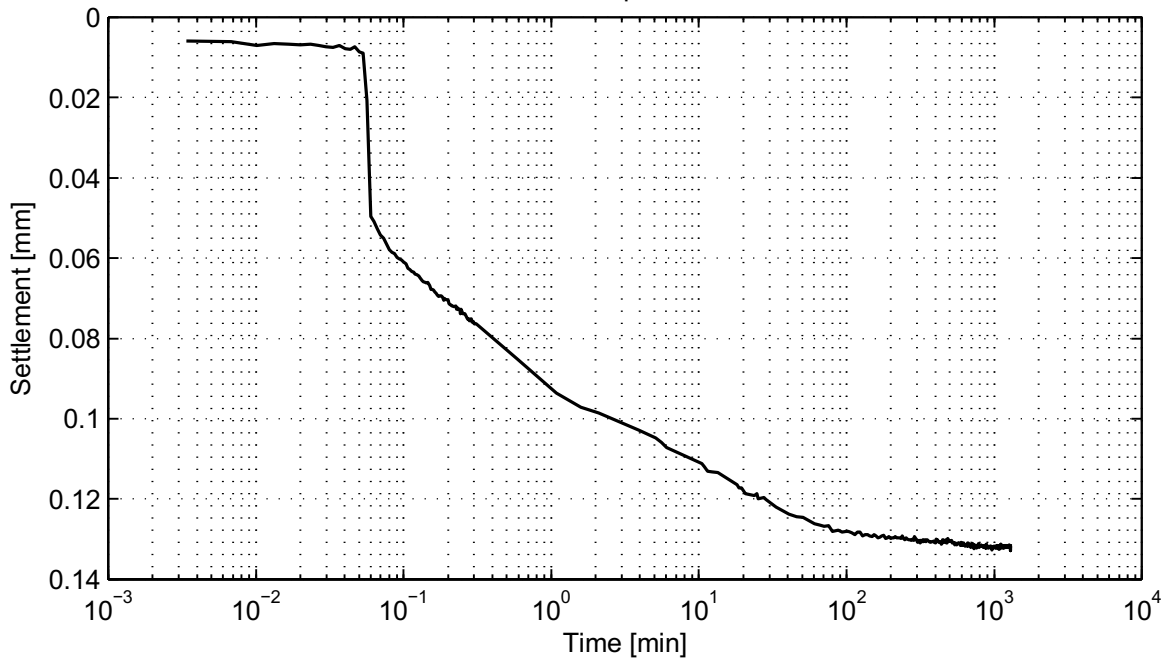
seen  
-

appendix  
SA9EA

page  
4

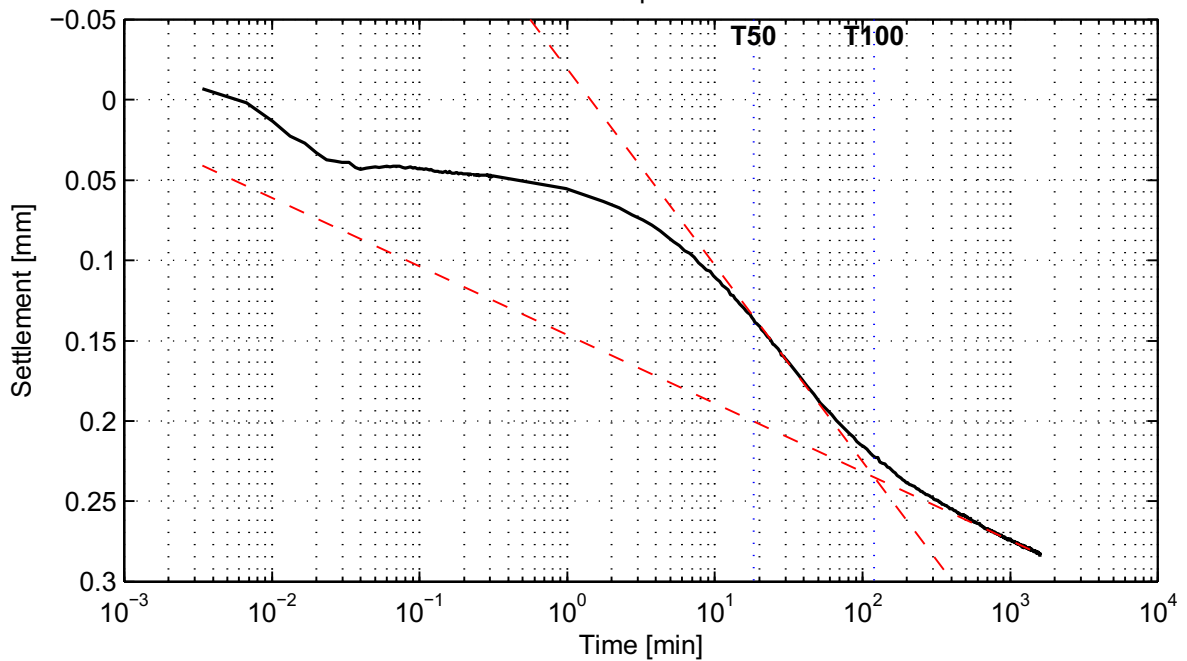
# Casagrande method (page 1/4)

Load step 20 kPa



No calculation performed.

Load step 39 kPa



$C_v = 1.3e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 5.2e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 6.7e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 9EA, depth -4.44 m till -4.48 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

seen  
 -

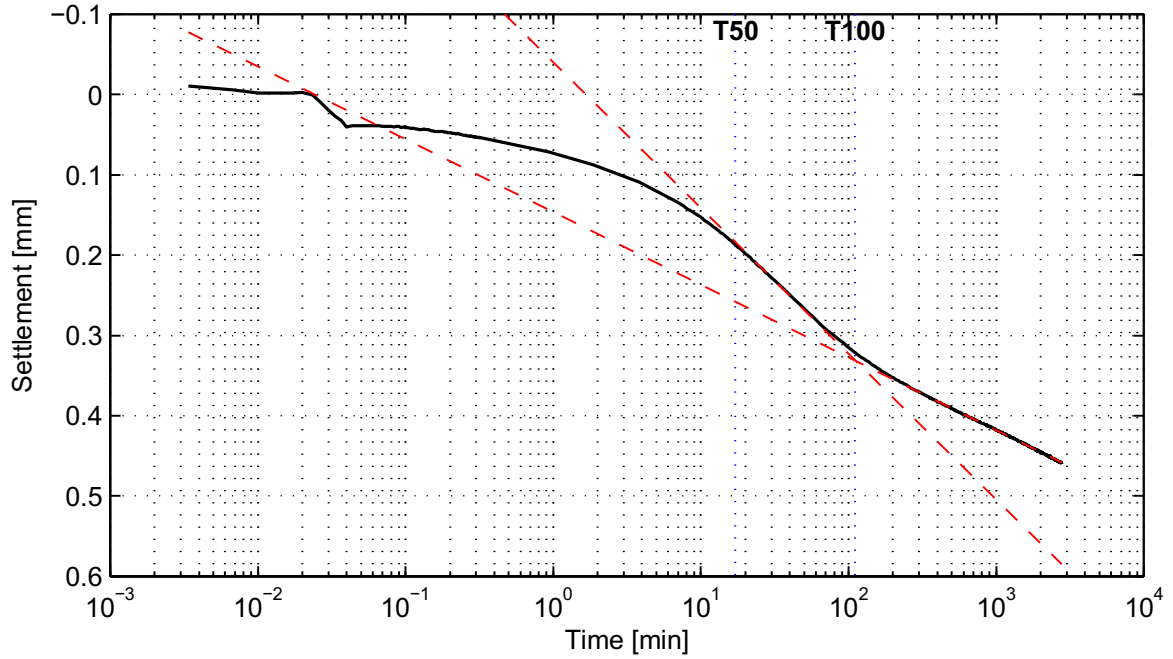
appendix  
 SA9EA

page  
 5

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:41

## Casagrande method (page 2/4)

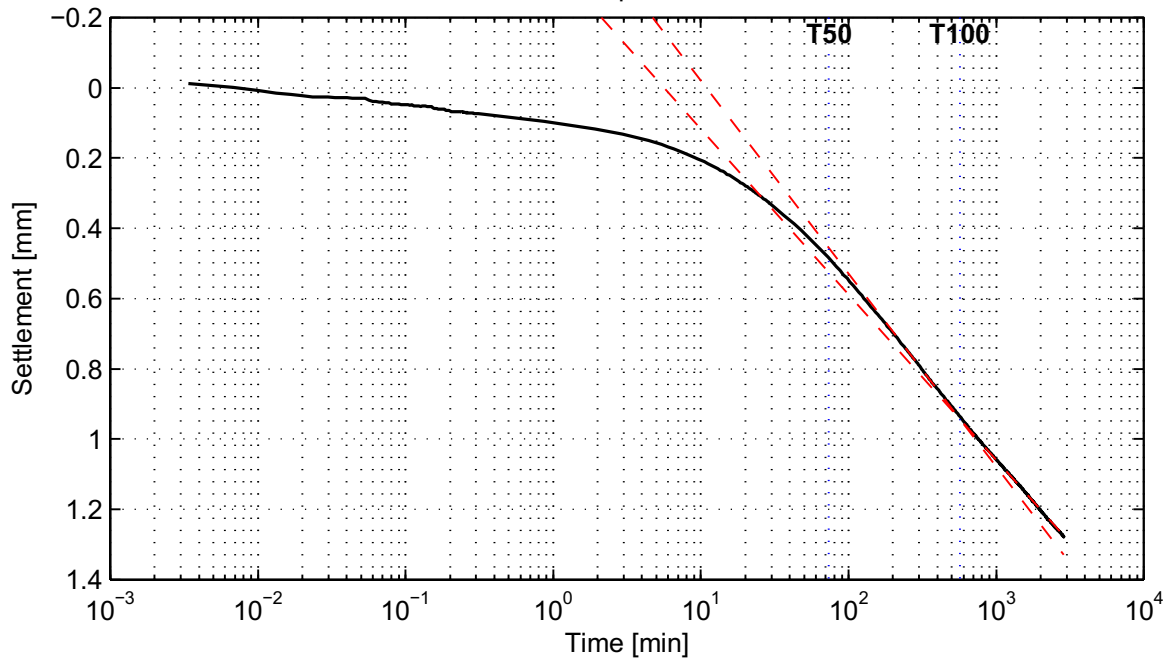
Load step 79 kPa



$C_v = 1.4e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 3.7e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 5.0e-011 \text{ m/s}$

Load step 160 kPa



$C_v = 2.9e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 2.5e-002$

$M_v = 5.9e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.7e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 9EA, depth -4.44 m till -4.48 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

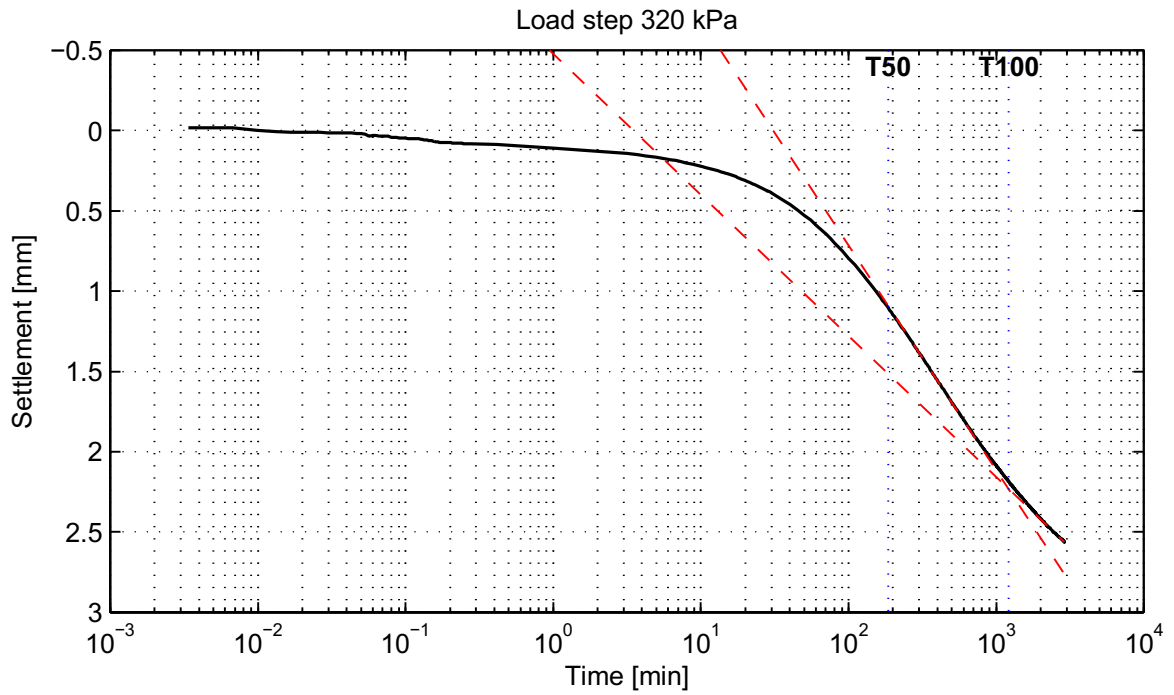
project  
 1203768.18

seen  
 -

appendix  
 SA9EA

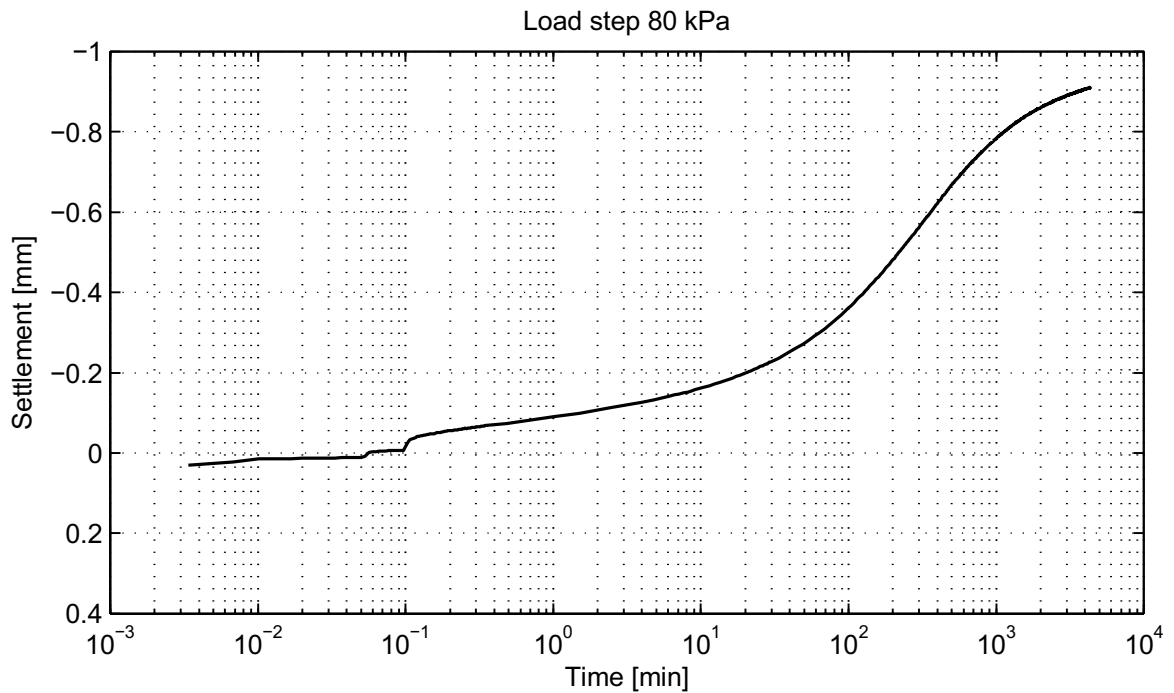
page  
 6

### Casagrande method (page 3/4)



$C_v = 9.4e-010 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 4.9e-002$

$M_v = 7.9e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 7.3e-012 \text{ m/s}$



No calculation performed.

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 9EA, depth -4.44 m till -4.48 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

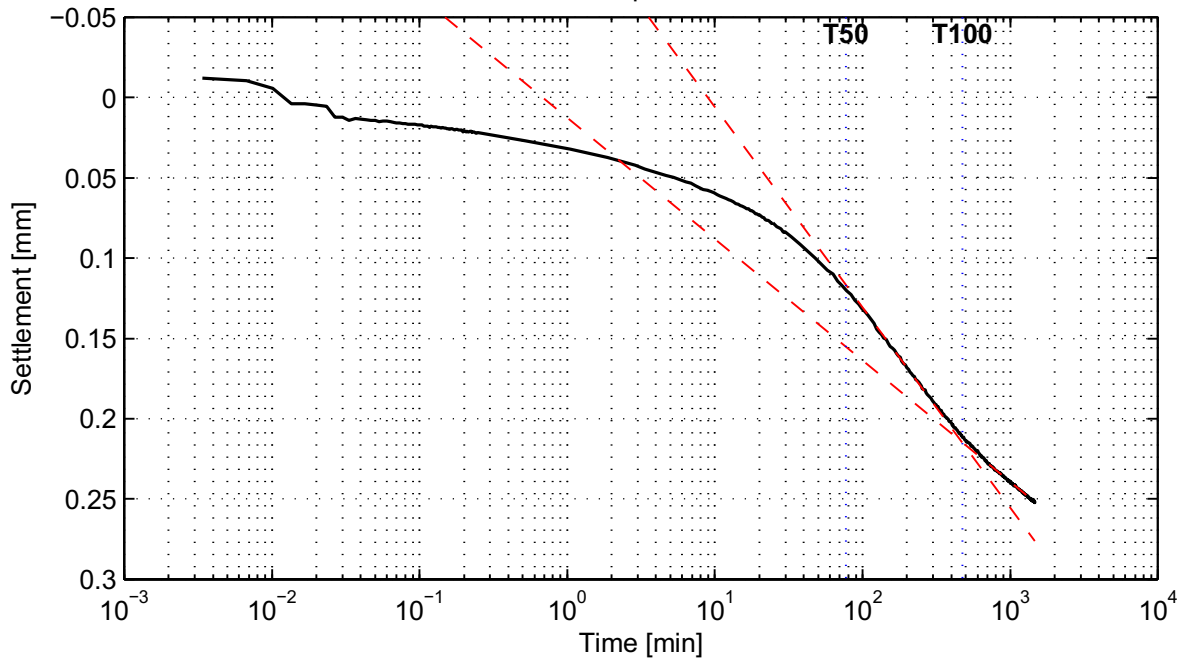
seen  
 -

appendix  
 SA9EA

page  
 7

### Casagrande method (page 4/4)

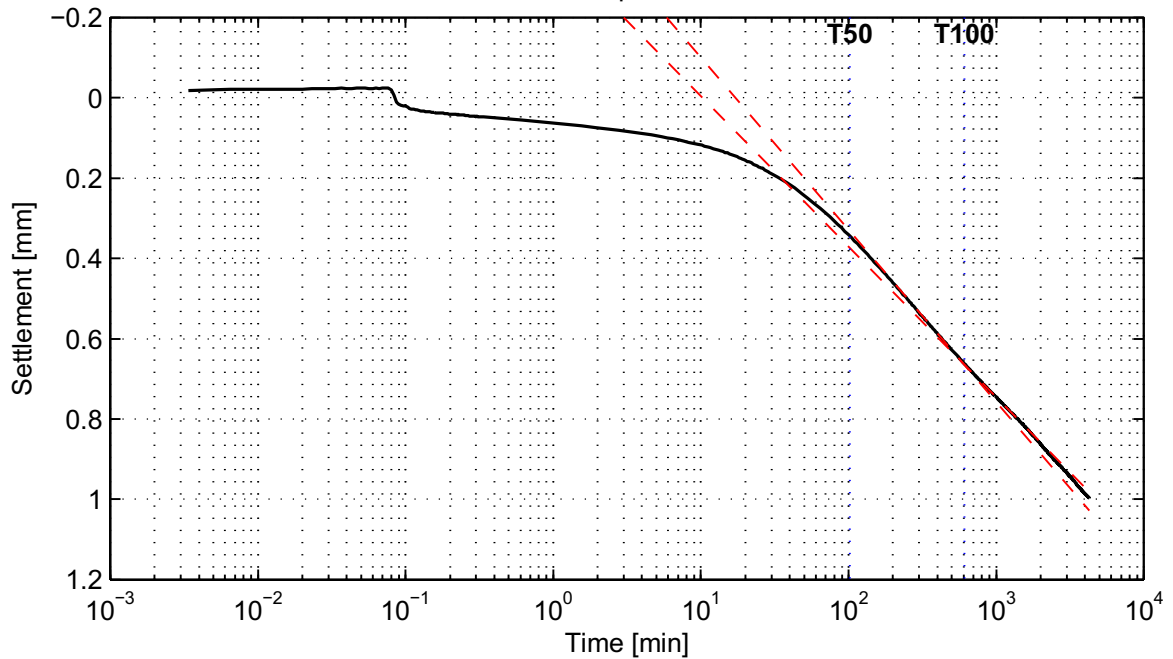
Load step 160 kPa



$C_v = 2.1e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 1.5e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 3.0e-012 \text{ m/s}$

Load step 320 kPa



$C_v = 1.5e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 2.5e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 3.7e-012 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 9EA, depth -4.44 m till -4.48 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

seen  
 -

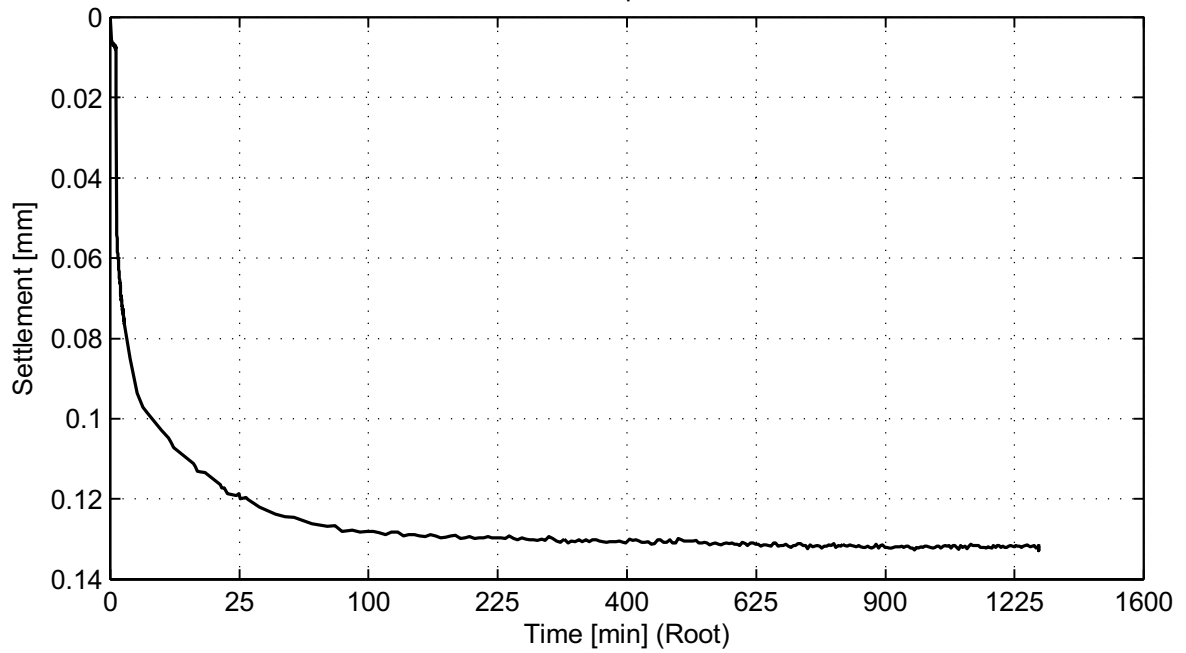
appendix  
 SA9EA

page  
 8

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:41

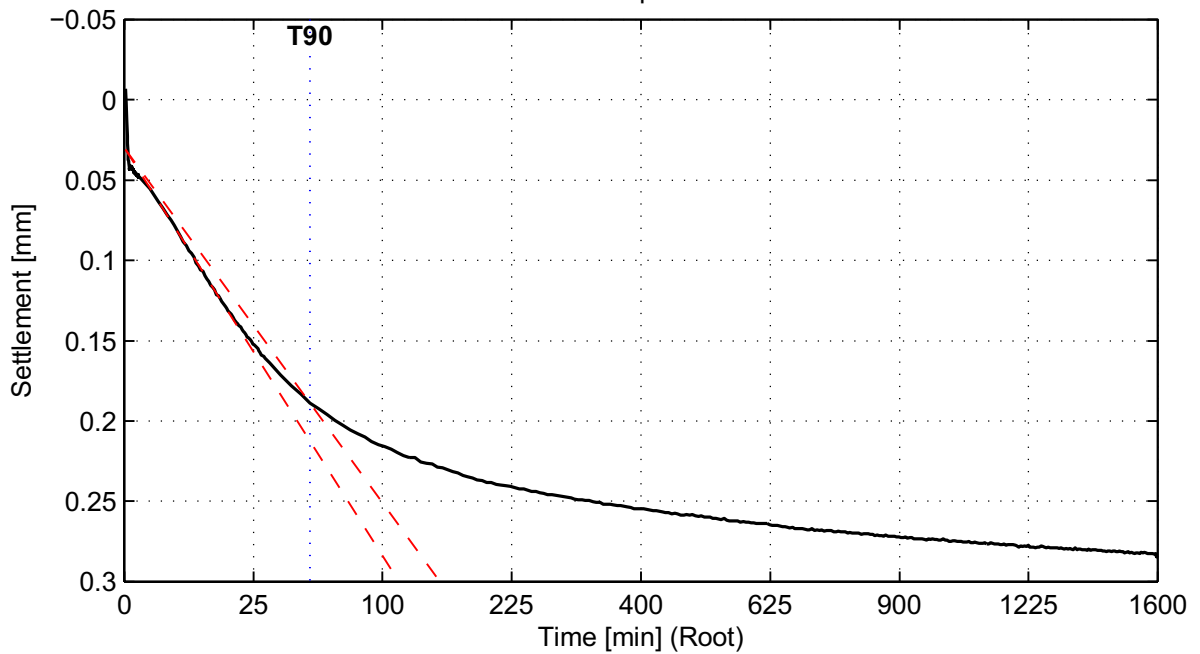
## Taylor method (page 1/4)

Load step 20 kPa



No calculation performed.

Load step 39 kPa



$C_v = 2.0e-008 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 9EA, depth -4.44 m till -4.48 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

seen  
-

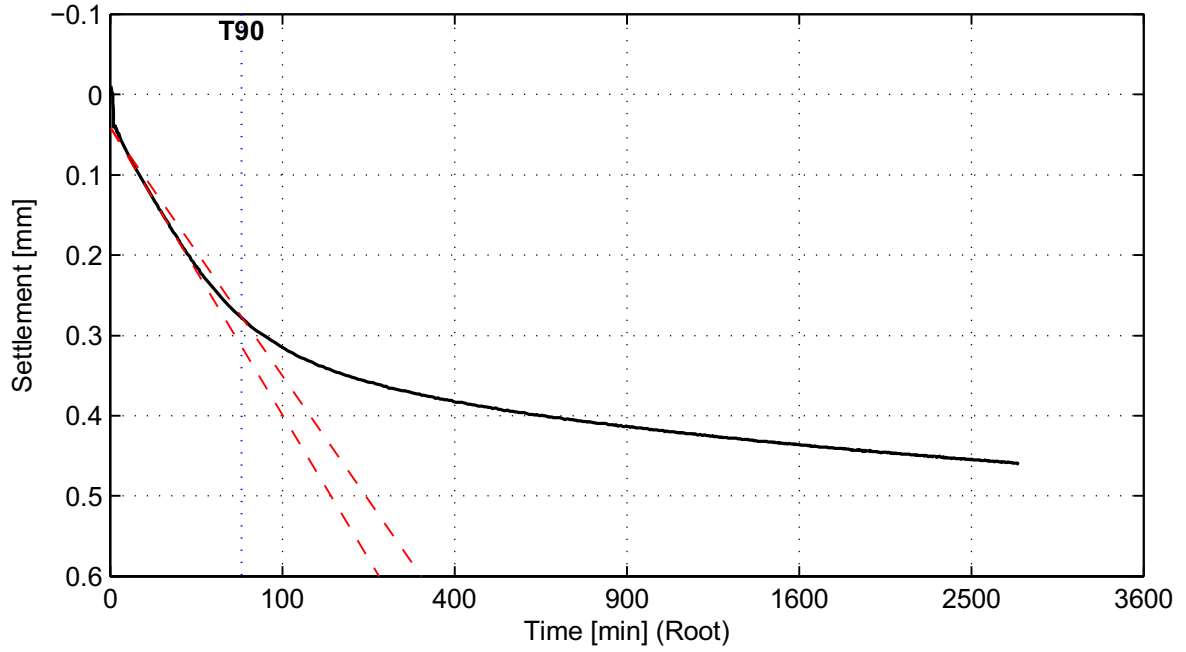
appendix  
SA9EA

page  
9

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:41

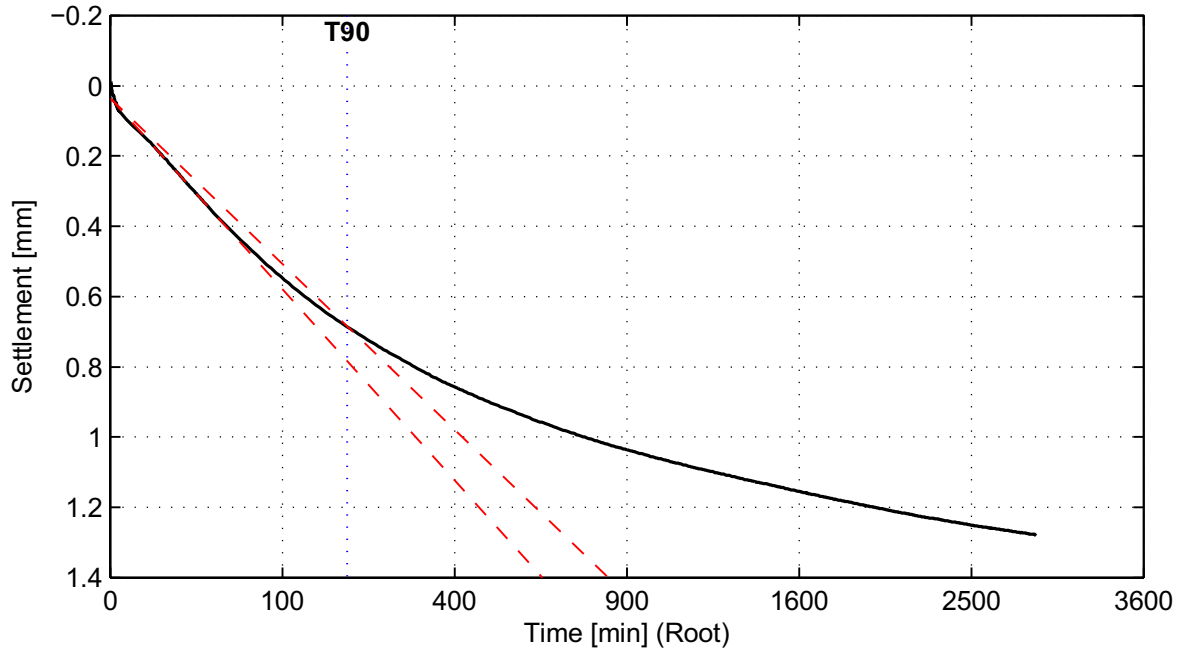
## Taylor method (page 2/4)

Load step 79 kPa



$C_v = 1.7e-008 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 160 kPa



$C_v = 4.8e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 9EA, depth -4.44 m till -4.48 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

seen  
-

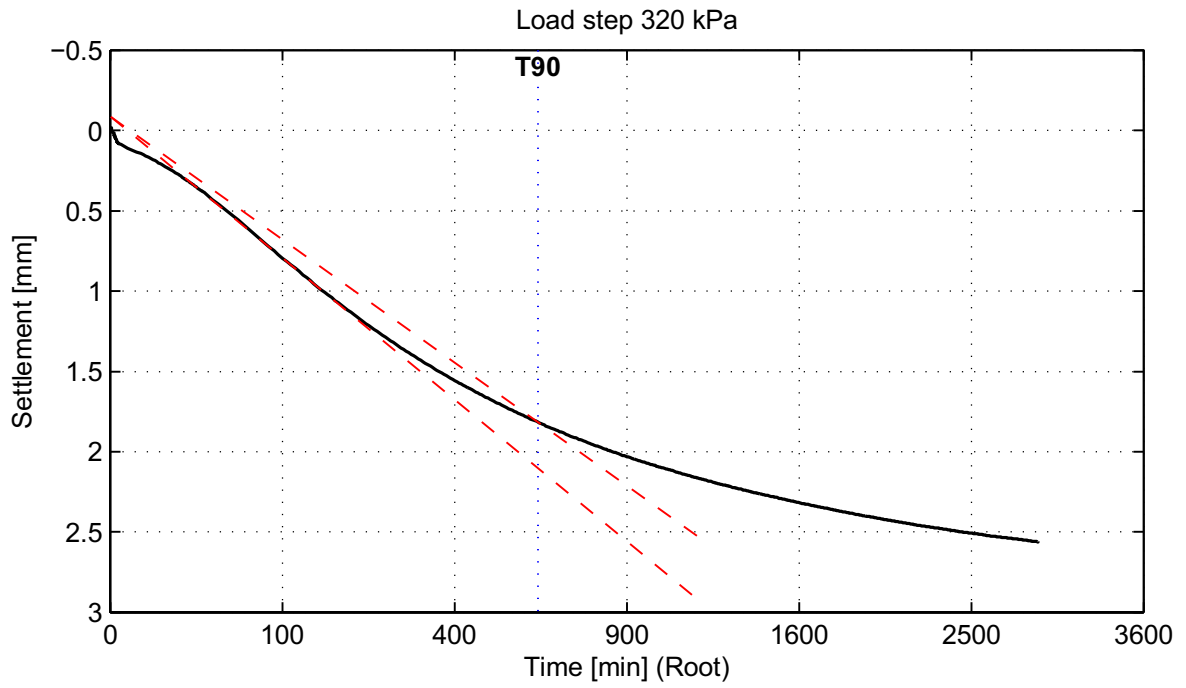
appendix  
SA9EA

page  
10

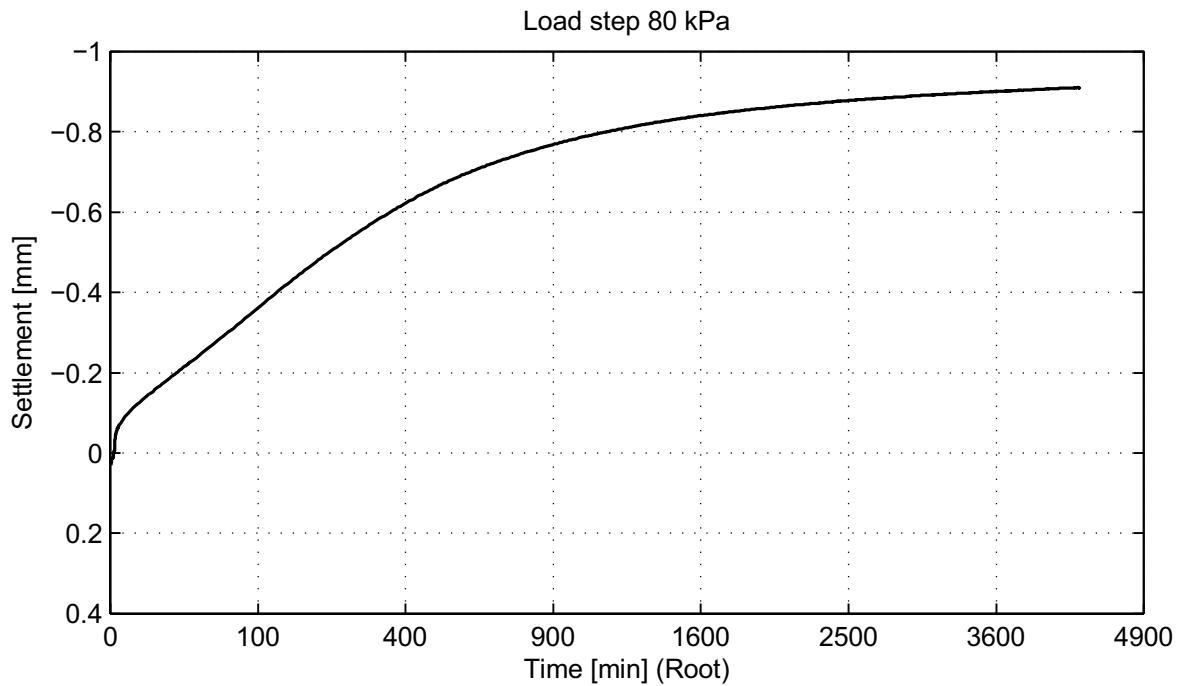
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:41



### Taylor method (page 3/4)



$C_v = 1.1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$



No calculation performed.

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 9EA, depth -4.44 m till -4.48 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

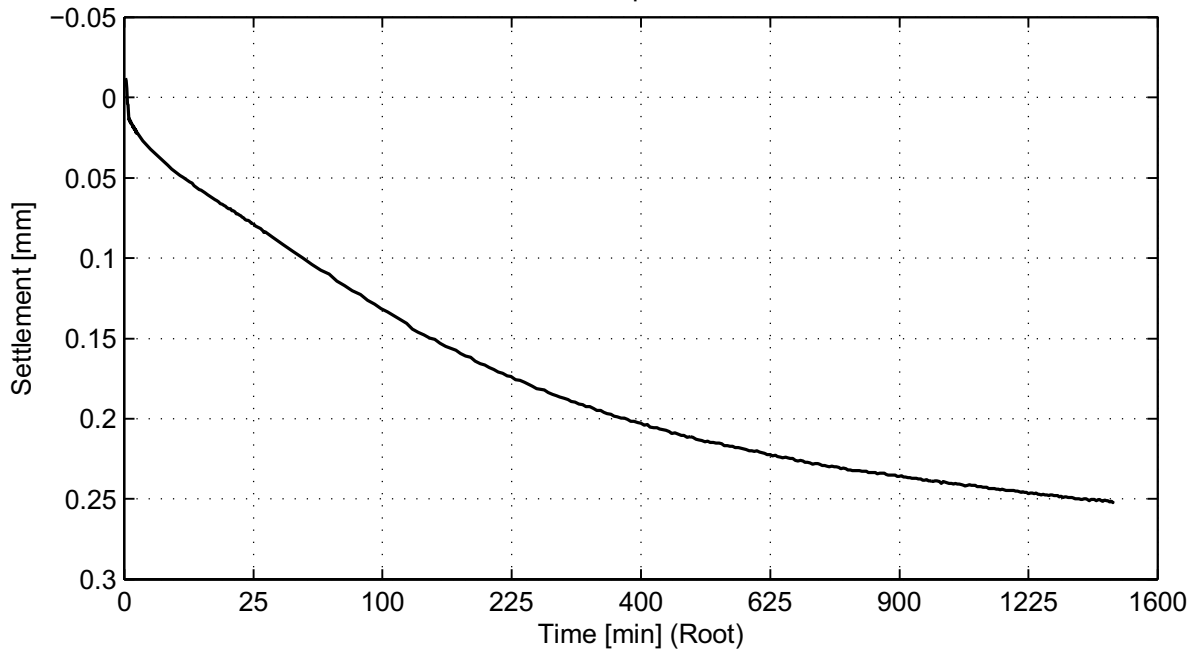
seen  
-

appendix  
SA9EA

page  
11

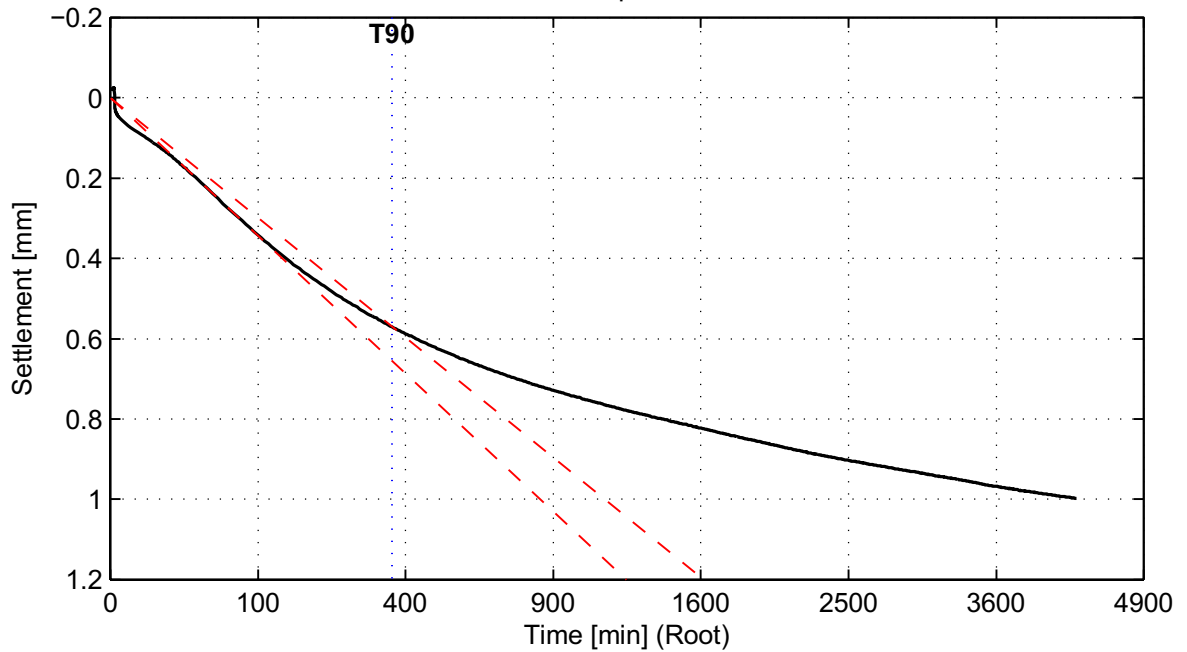
## Taylor method (page 4/4)

Load step 160 kPa



No calculation performed.

Load step 320 kPa



$C_v = 1.8e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 9EA, depth -4.44 m till -4.48 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

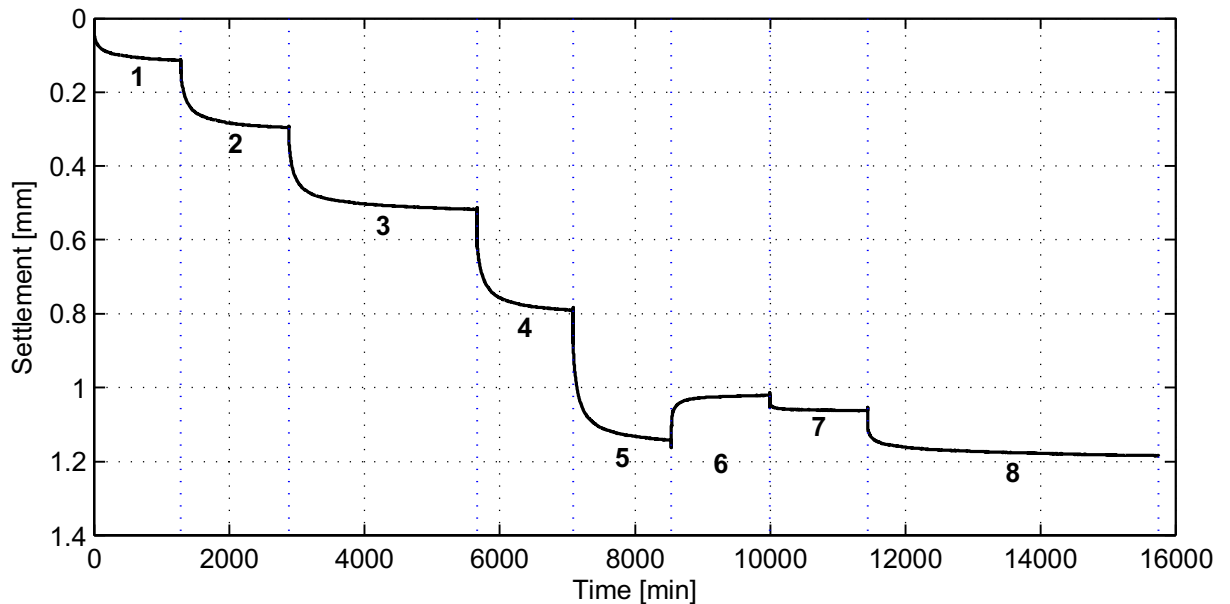
project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
SA9EA

page  
12

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:41



### General soil and test parameters

Soil description (NEN 5104)	Ks2
Initial volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	16.4
Initial volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	10.9
Volumetric weight particles [kN/m <sup>3</sup> ]	25.6
Initial water content [%]	51.1
Initial sample height [mm]	20
Initial sample diameter [mm]	63
Initial saturation [-]	1.0
Final volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	17.0
Final volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	11.6
Final water content [%]	46.9
Final saturation [-]	1.0
Type of test (wet/dry)	Wet
Visual disturbance sample	undisturbed
Startdate	2012-04-12
Enddate	2012-04-23
Sample disturbance index	3.6, good
Lab temperature [° C]	20.5
Pc <sub>Becker</sub> [kPa]	15.8
Pc <sub>Janbu</sub> [kPa]	-

Load step number	Load [kPa]
1	6
2	10
3	20
4	41
5	80
6	21
7	41
8	80

References:  
 Isotachenparameters: CUR recommendation 101  
 Pc Becker: Becker et al. (1987)  
 Pc Janbu: Janbu (1969)  
 Sample disturbance index: Lunne et al (2006)

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 13A, depth 1.71 m till 1.67 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

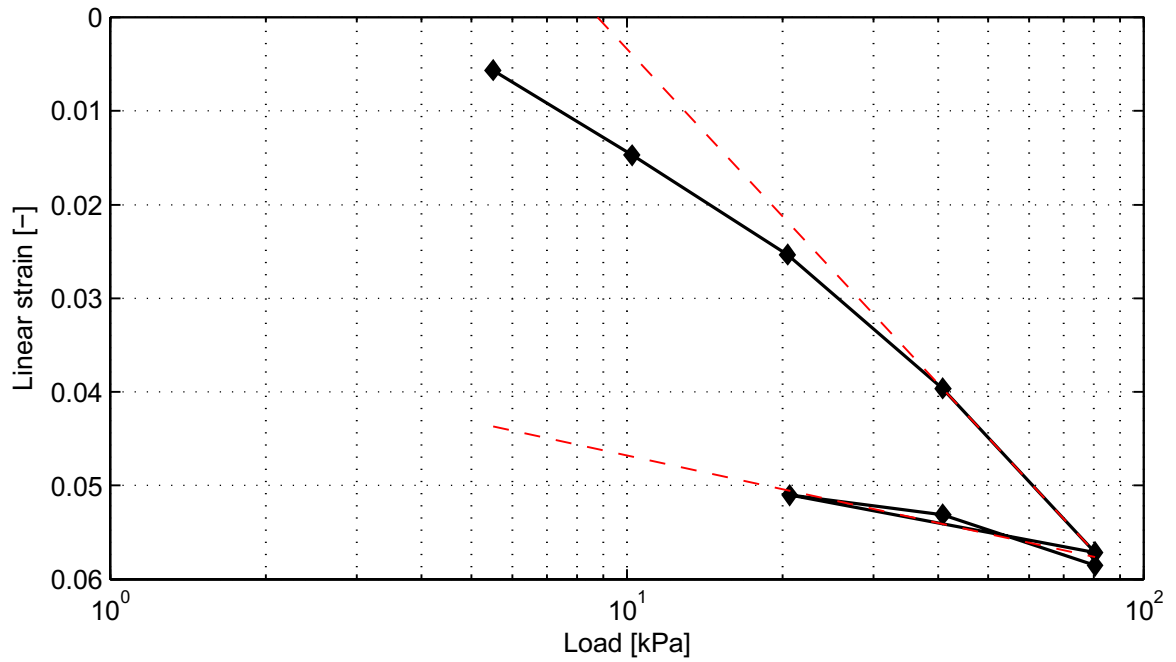
project  
 1203768.18

seen  
 -

appendix  
 SA13A

page  
 1

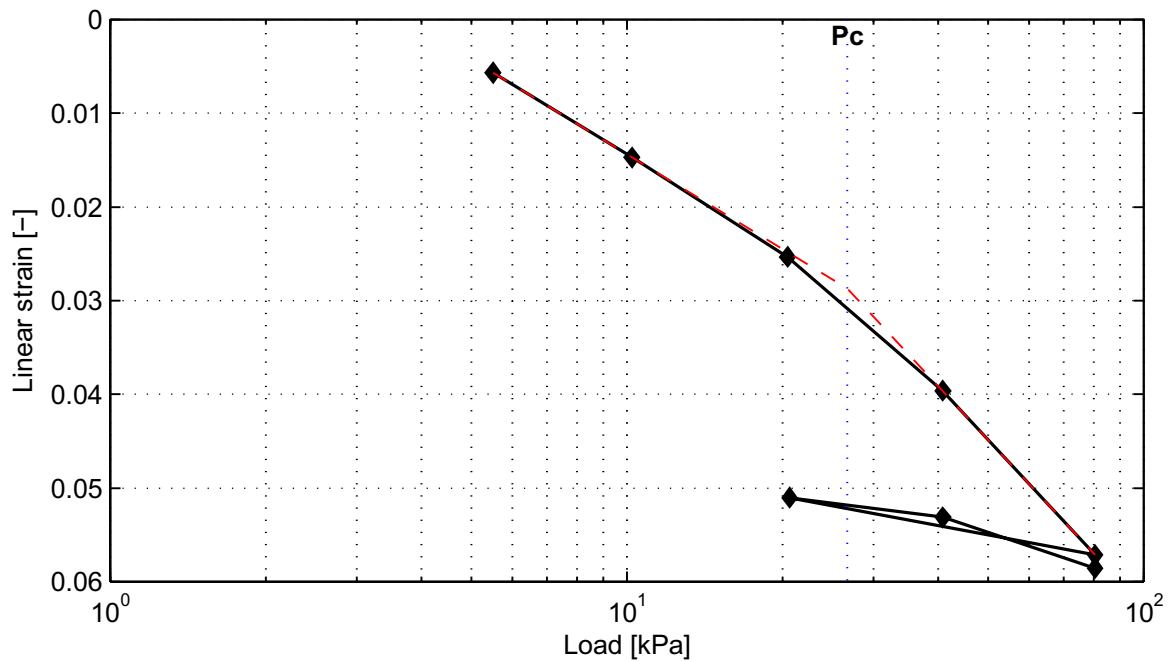
### NEN-Bjerrum method



RR = 1.2e-002  
CR = 5.9e-002

Ca = 2.5e-003

Vo = 2.35



Pc = 26.7 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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 13A, depth 1.71 m till 1.67 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

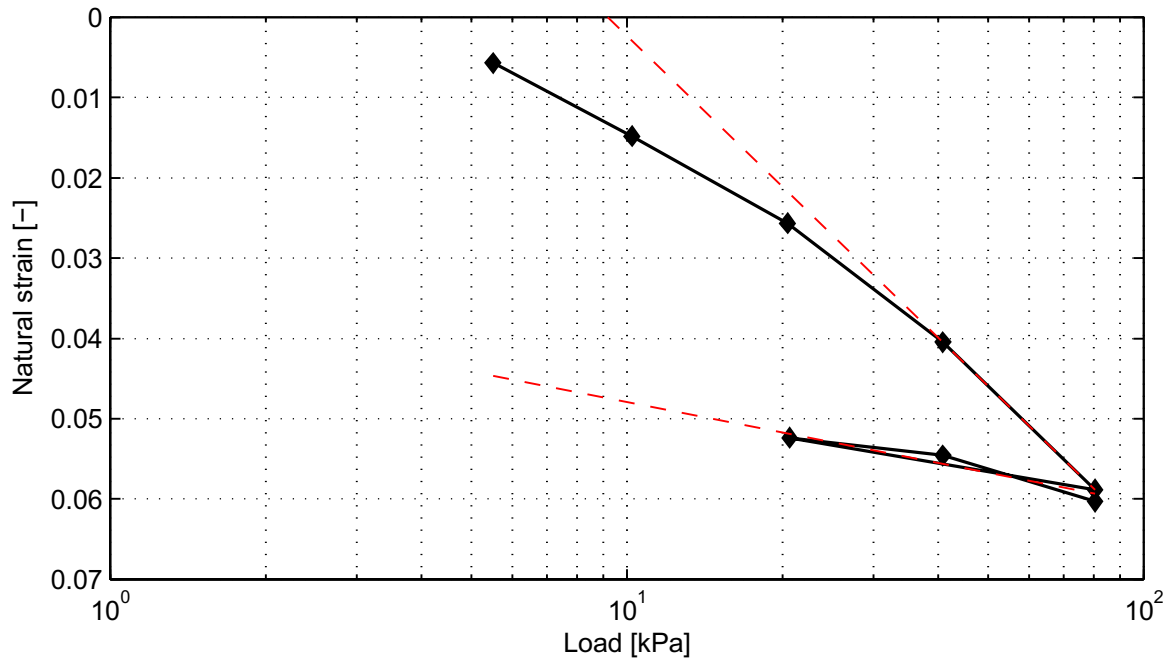
Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA13A

page  
2

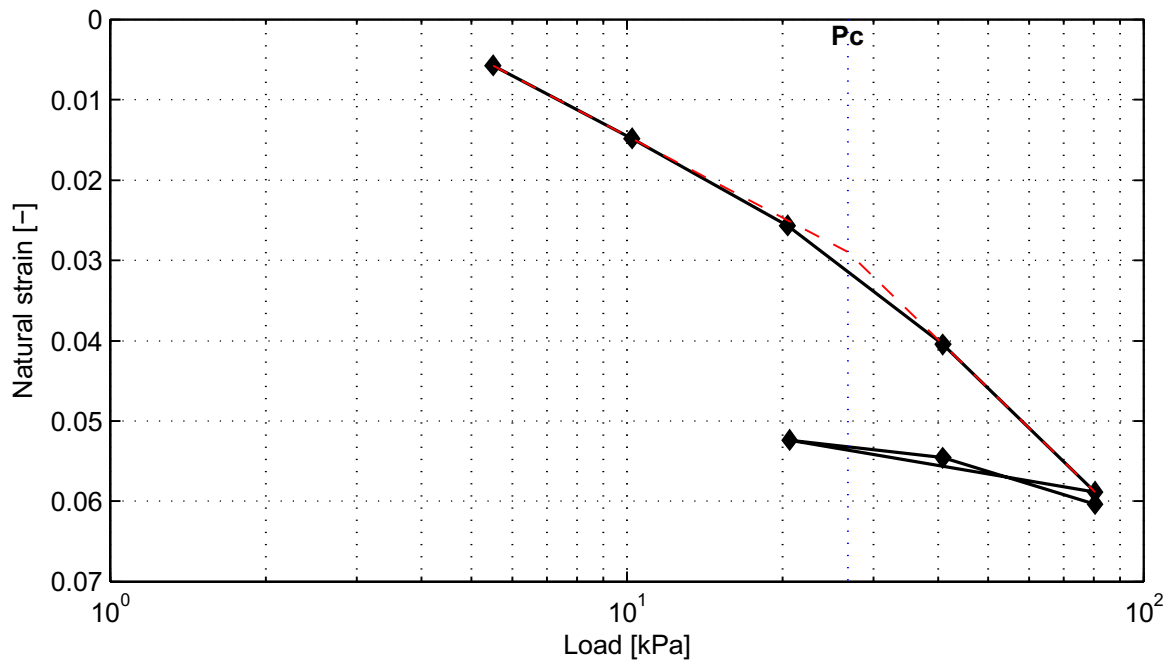
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:05

### Isotachen method



A = 5.5e-003  
B = 2.7e-002

C = 1.1e-003



Pc = 26.7 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  
2012-05-04

signed  
ess

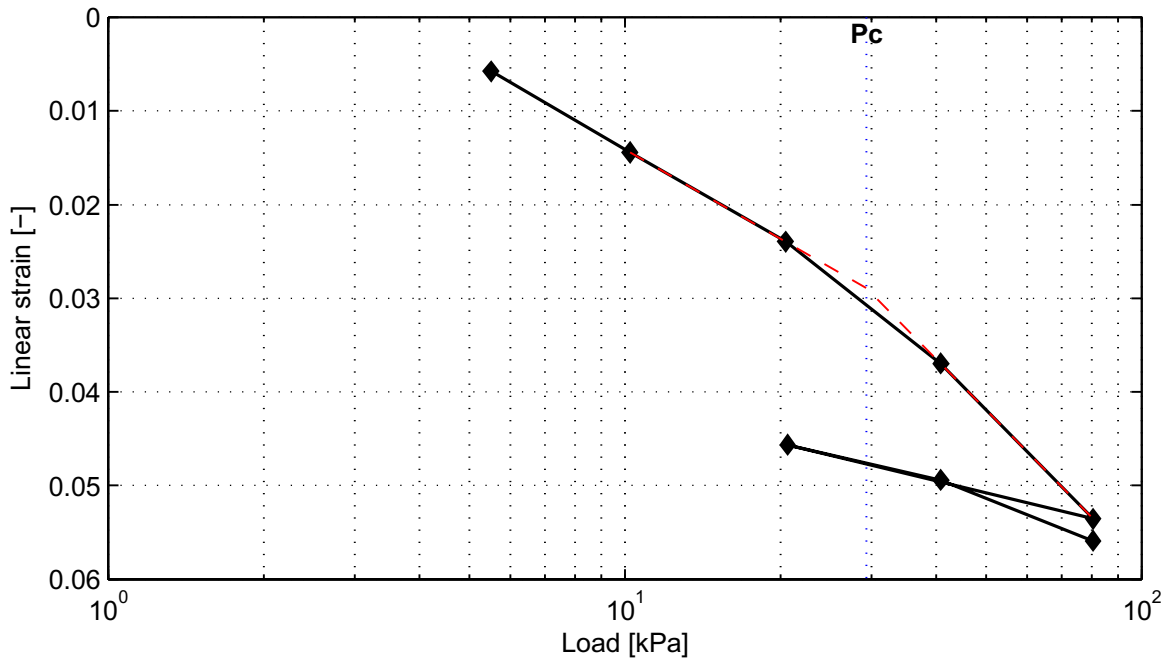
Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 13A, depth 1.71 m till 1.67 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18  
appendix  
SA13A

seen  
-  
page  
3

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:05

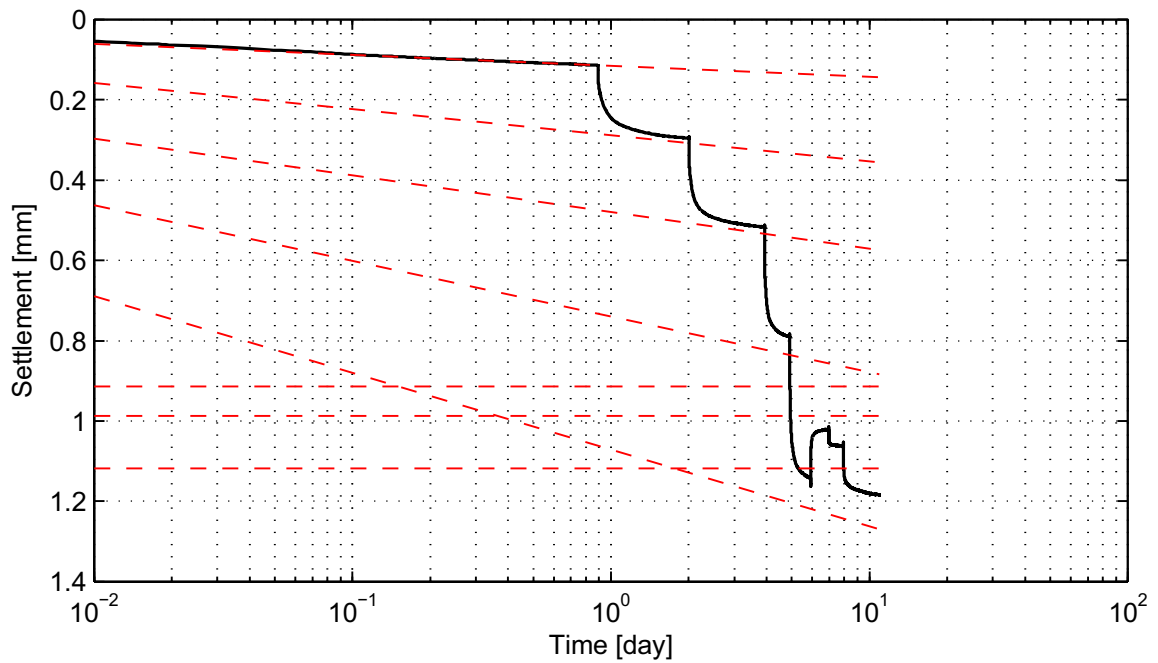
### Koppejan method



$C_p = 7.3e+001$   
 $C_{p'} = 4.1e+001$

$C_s = 5.3e+002$   
 $C_{s'} = 2.6e+002$

$C = 4.7e+001$   
 $C' = 2.5e+001$   
 $P_{c'} = 29.3 \text{ kPa}$



$C_p = 7.3e+001$   
 $C_{p'} = 4.1e+001$

$C_s = 5.3e+002$   
 $C_{s'} = 2.6e+002$

$C = 4.7e+001$   
 $C' = 2.5e+001$   
 $P_{c'} = 29.3 \text{ kPa}$

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 13A, depth 1.71 m till 1.67 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

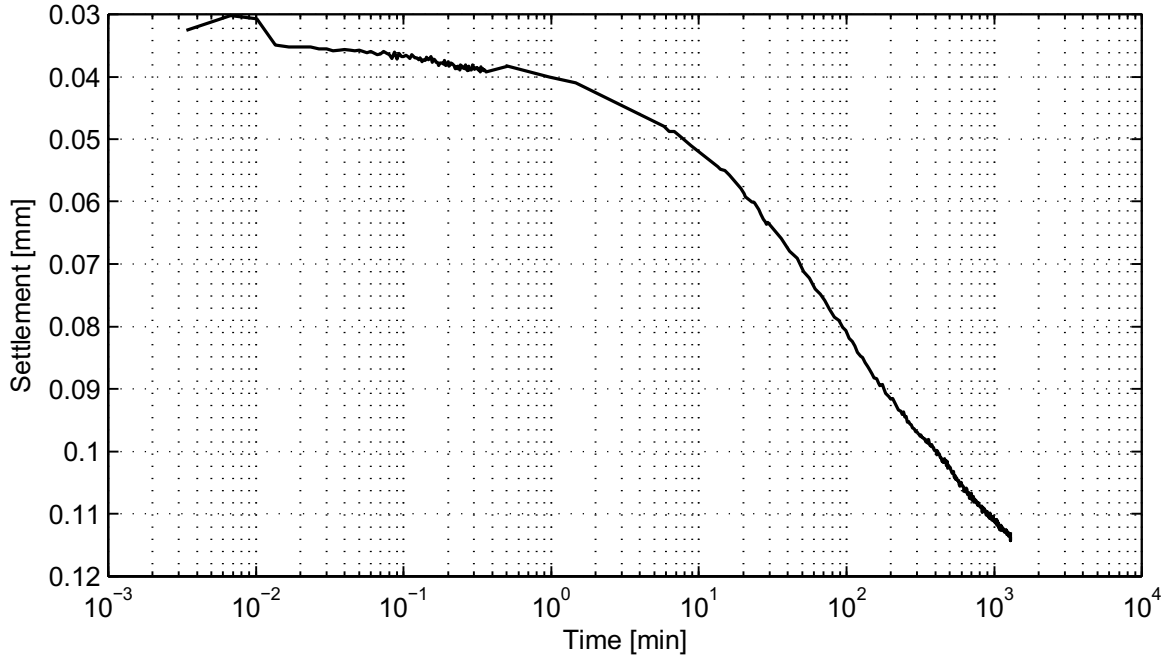
seen  
 -

appendix  
 SA13A

page  
 4

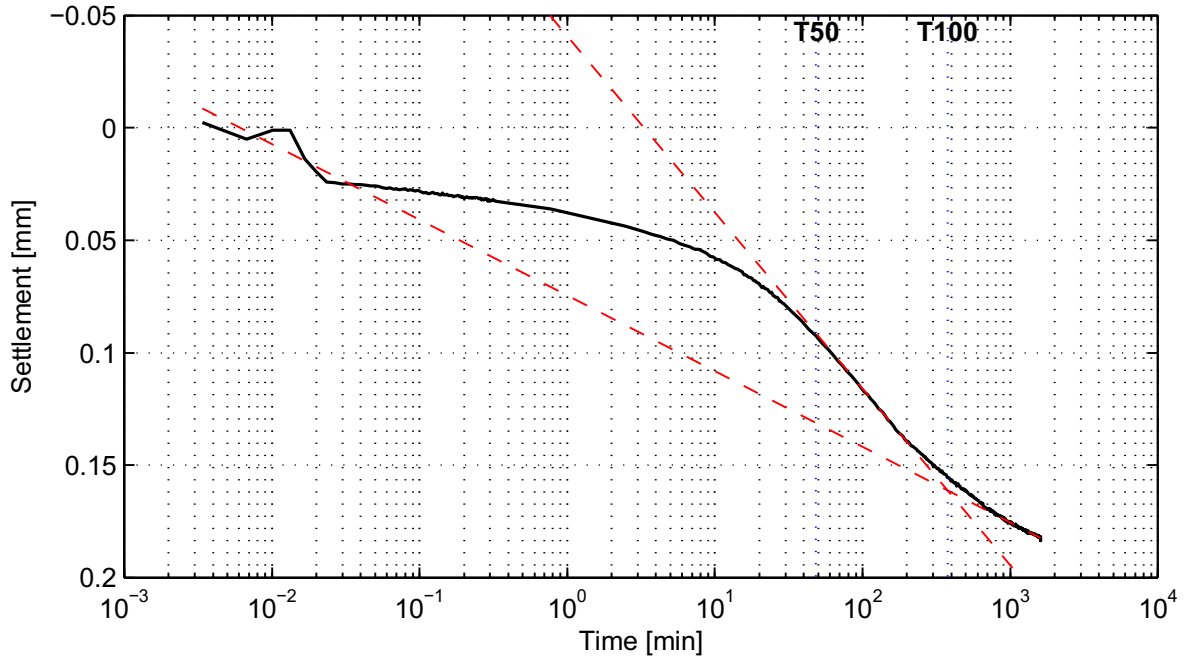
# Casagrande method (page 1/4)

Load step 6 kPa



No calculation performed.

Load step 10 kPa



$C_v = 5.1e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 1.5e-003 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 7.3e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 13A, depth 1.71 m till 1.67 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

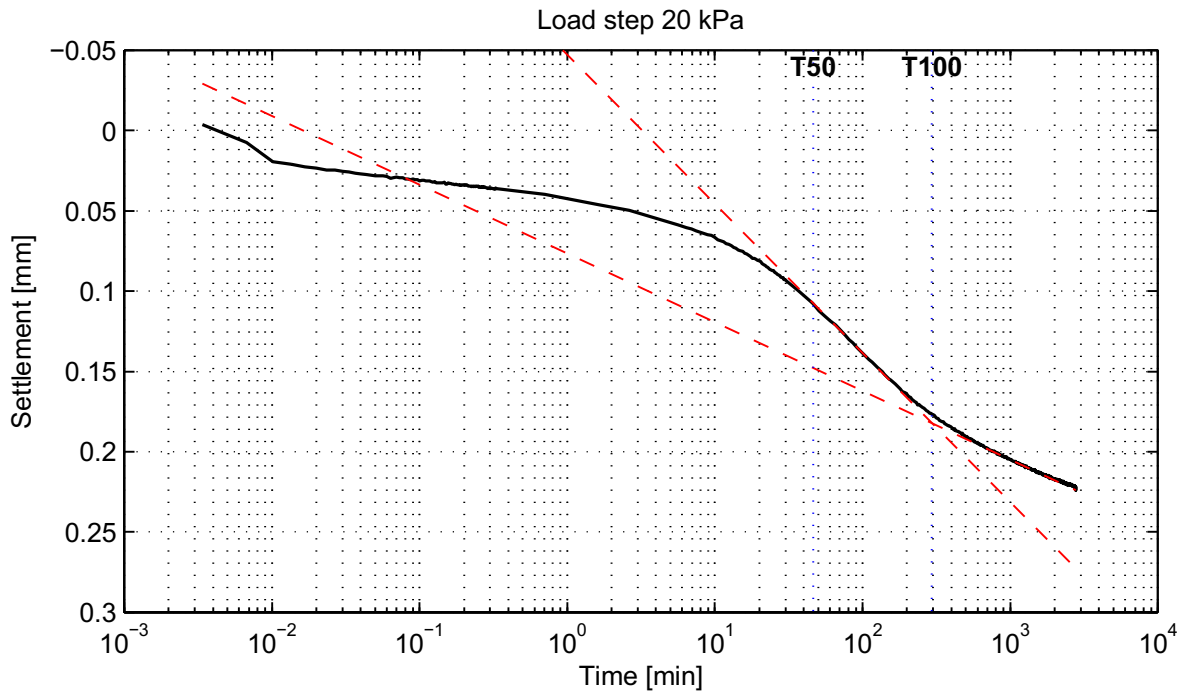
project  
 1203768.18

seen  
 -

appendix  
 SA13A

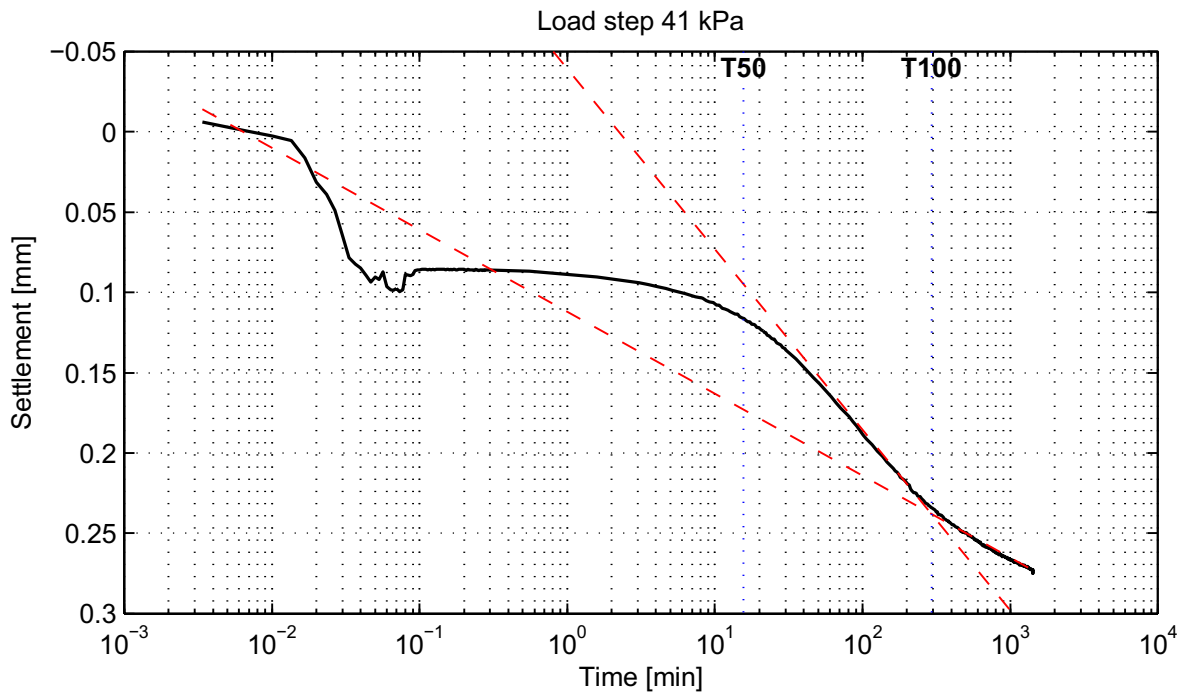
page  
 5

### Casagrande method (page 2/4)



$C_v = 5.2e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 2.2e-003$

$M_v = 7.4e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 3.8e-011 \text{ m/s}$



$C_v = 1.5e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 2.6e-003$

$M_v = 6.1e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 9.1e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 13A, depth 1.71 m till 1.67 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

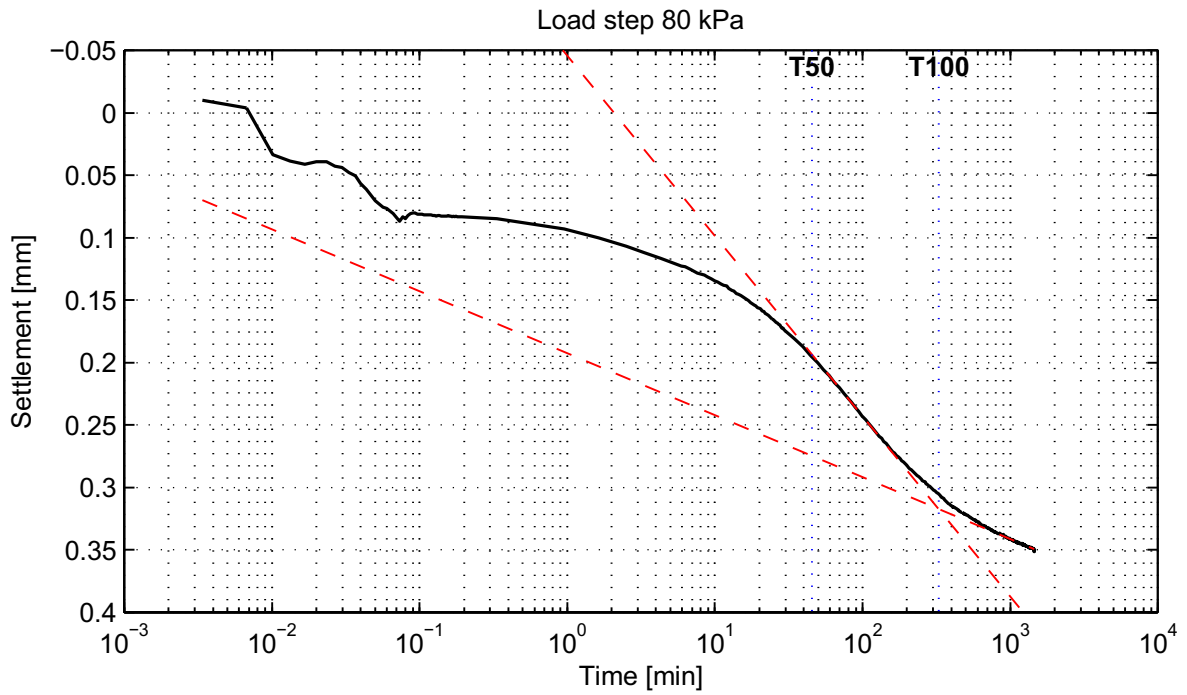
seen  
 -

appendix  
 SA13A

page  
 6

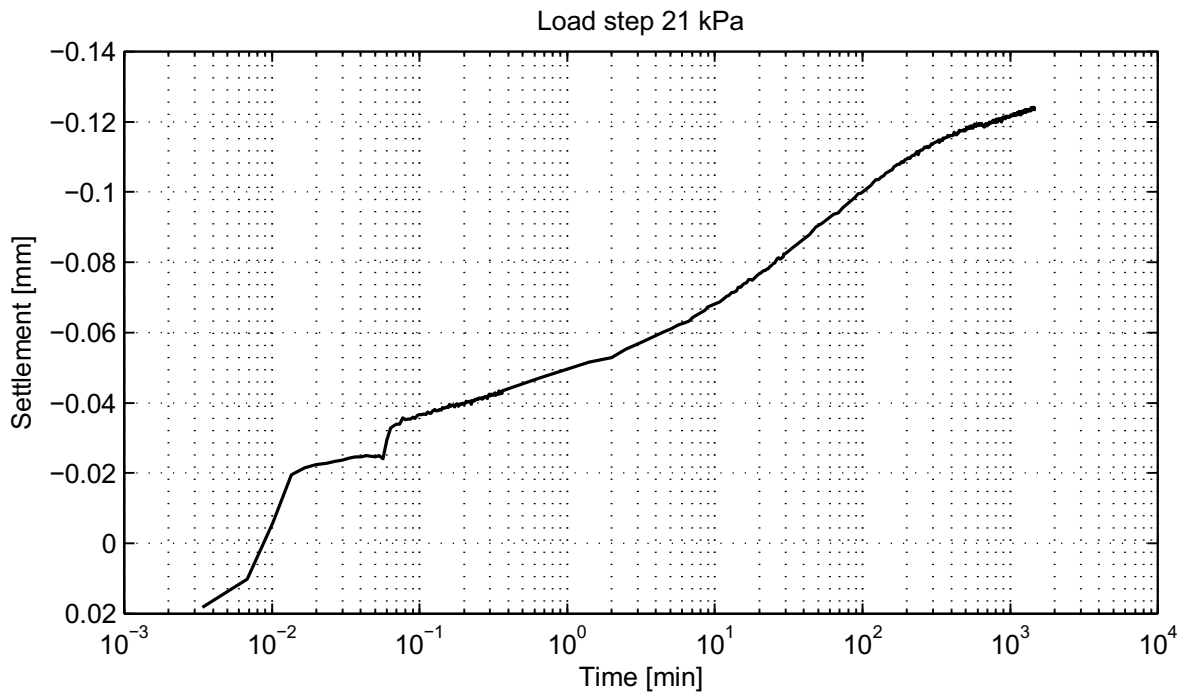


### Casagrande method (page 3/4)



$C_v = 5.0e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 2.6e-003$

$M_v = 3.2e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.6e-011 \text{ m/s}$



No calculation performed.

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 13A, depth 1.71 m till 1.67 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

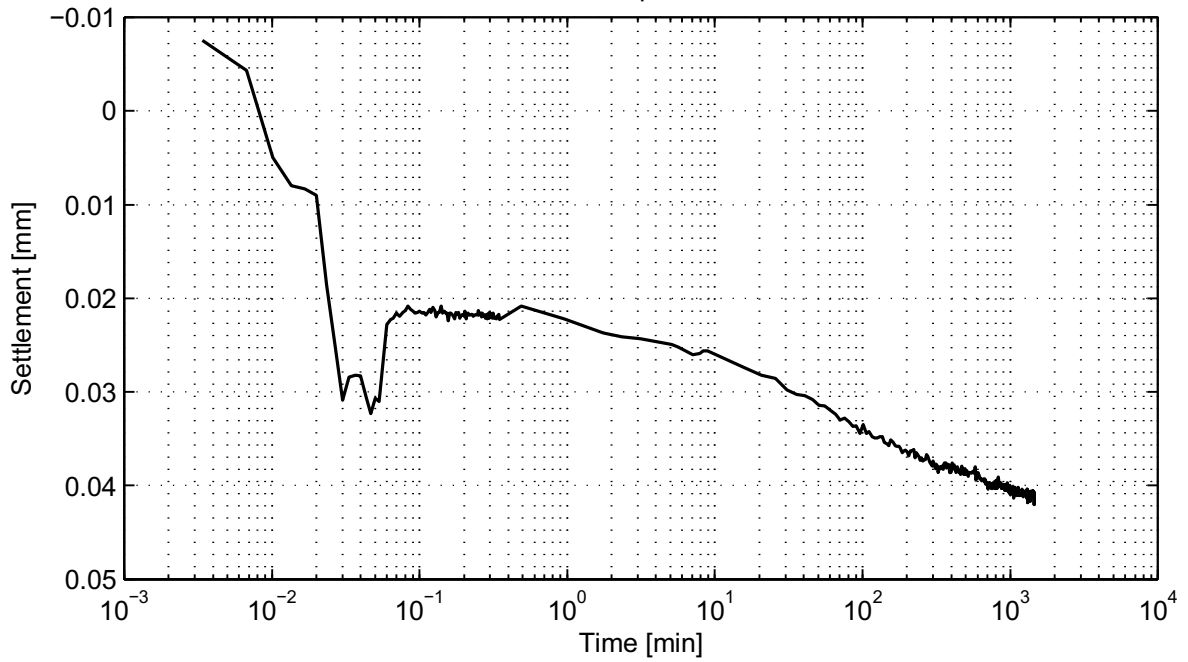
seen  
 -

appendix  
 SA13A

page  
 7

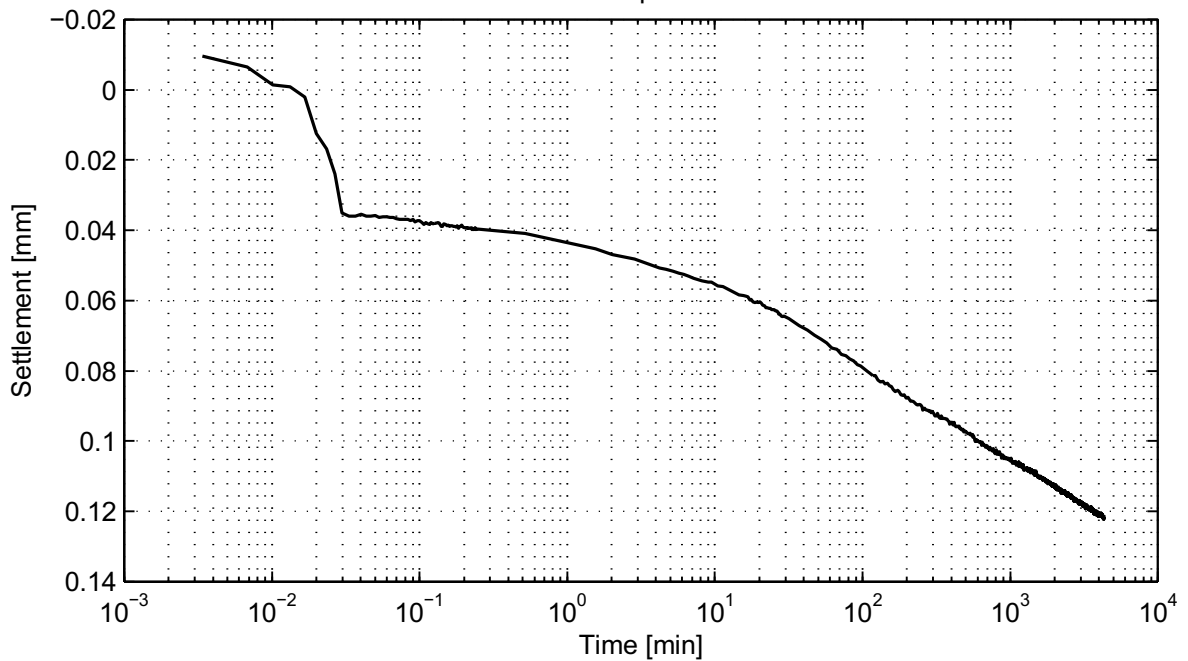
### Casagrande method (page 4/4)

Load step 41 kPa



No calculation performed.

Load step 80 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 13A, depth 1.71 m till 1.67 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

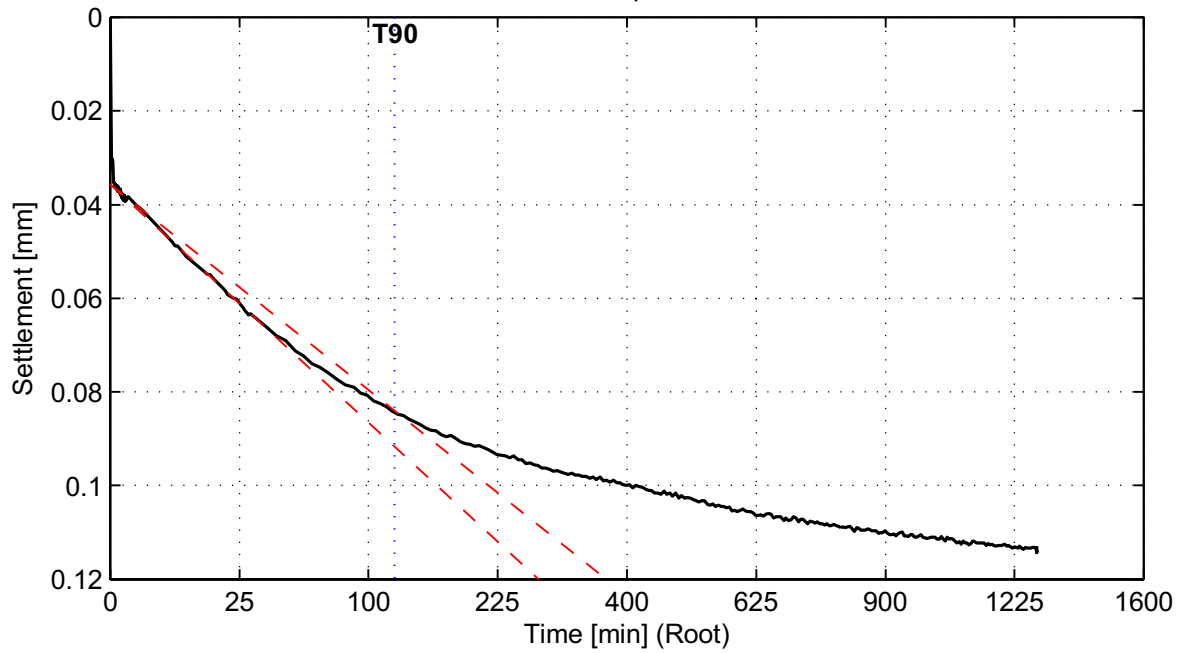
Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA13A

page  
8

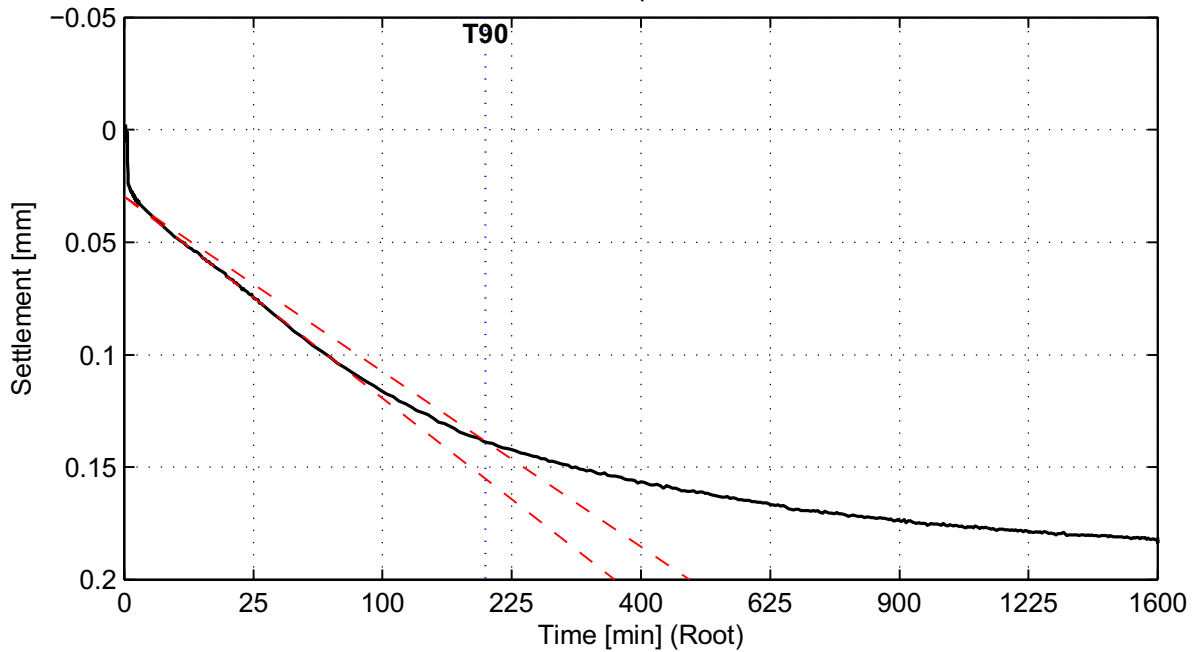
## Taylor method (page 1/4)

Load step 6 kPa



$C_v = 8.8e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 10 kPa



$C_v = 5.4e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

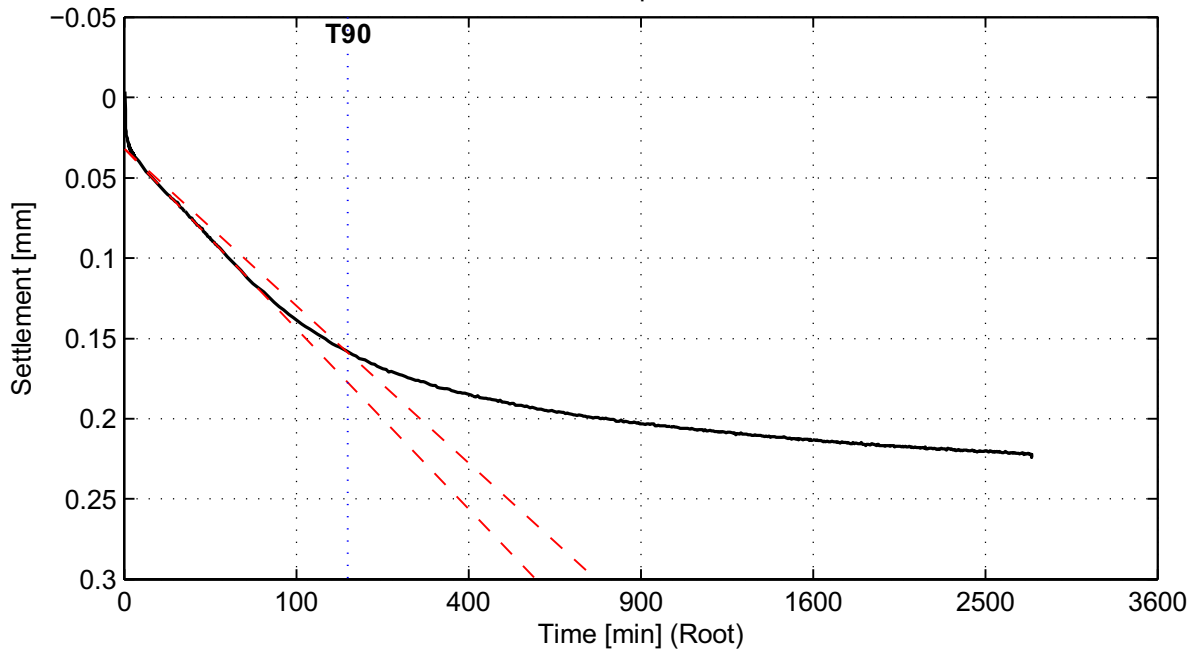
Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 13A, depth 1.71 m till 1.67 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18  
appendix  
SA13A

seen  
-  
page  
9

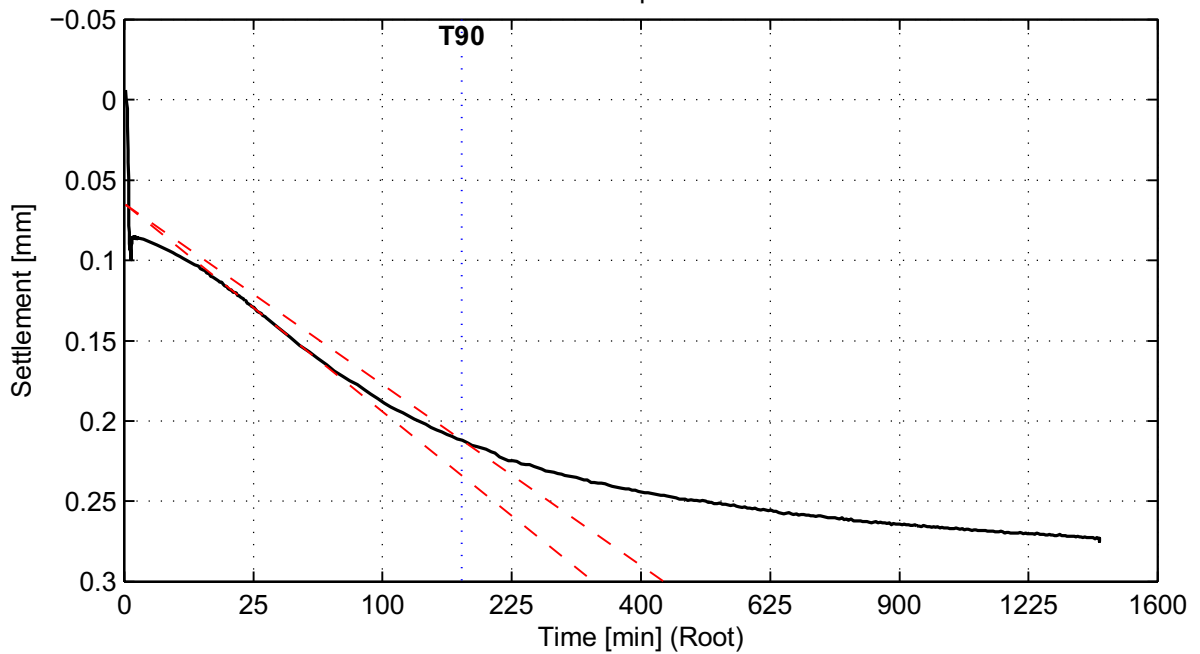
## Taylor method (page 2/4)

Load step 20 kPa



$C_v = 6.1e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 41 kPa



$C_v = 5.9e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 13A, depth 1.71 m till 1.67 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

seen  
-

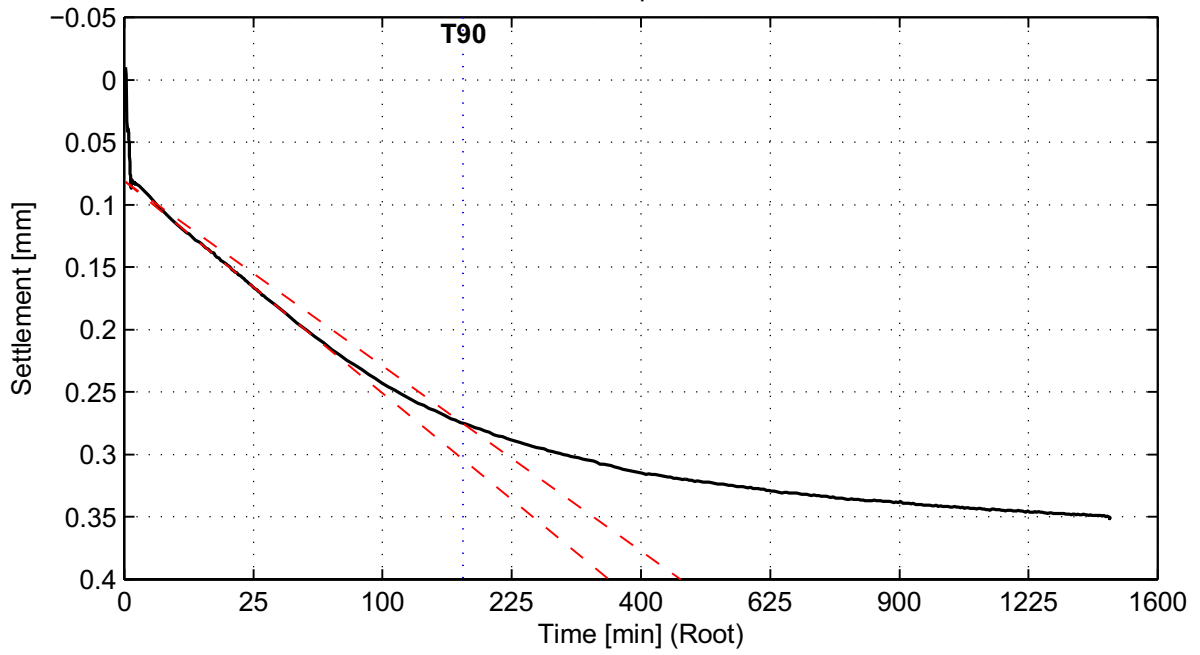
appendix  
SA13A

page  
10

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:05

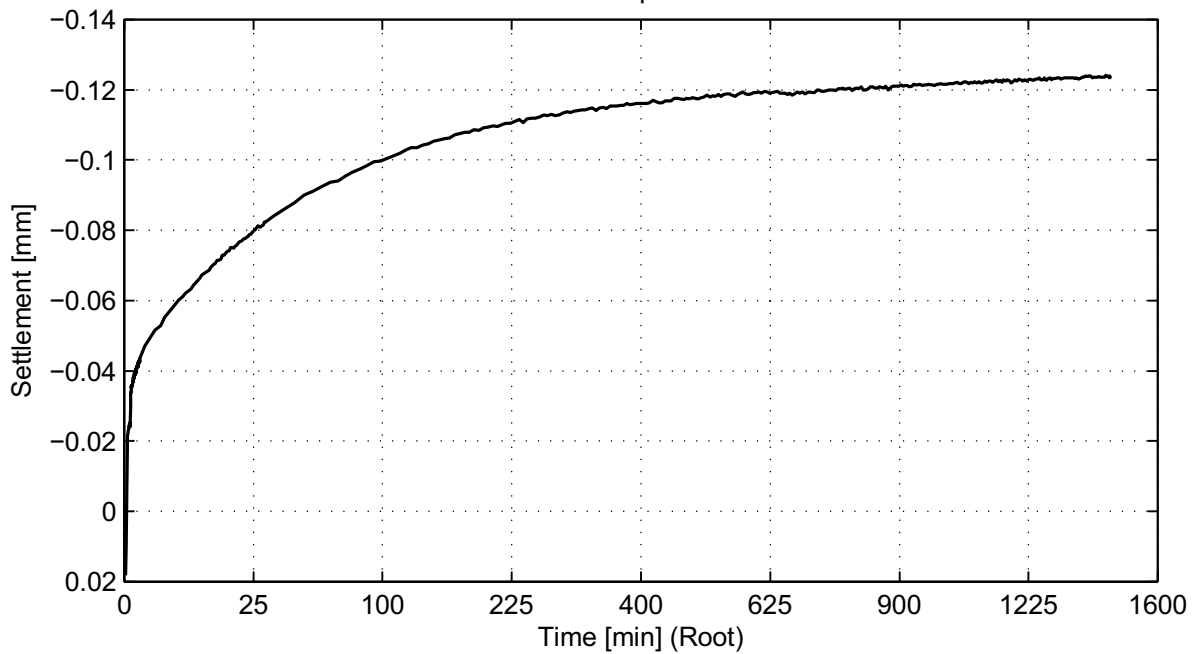
## Taylor method (page 3/4)

Load step 80 kPa



$C_v = 5.6e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 21 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 13A, depth 1.71 m till 1.67 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

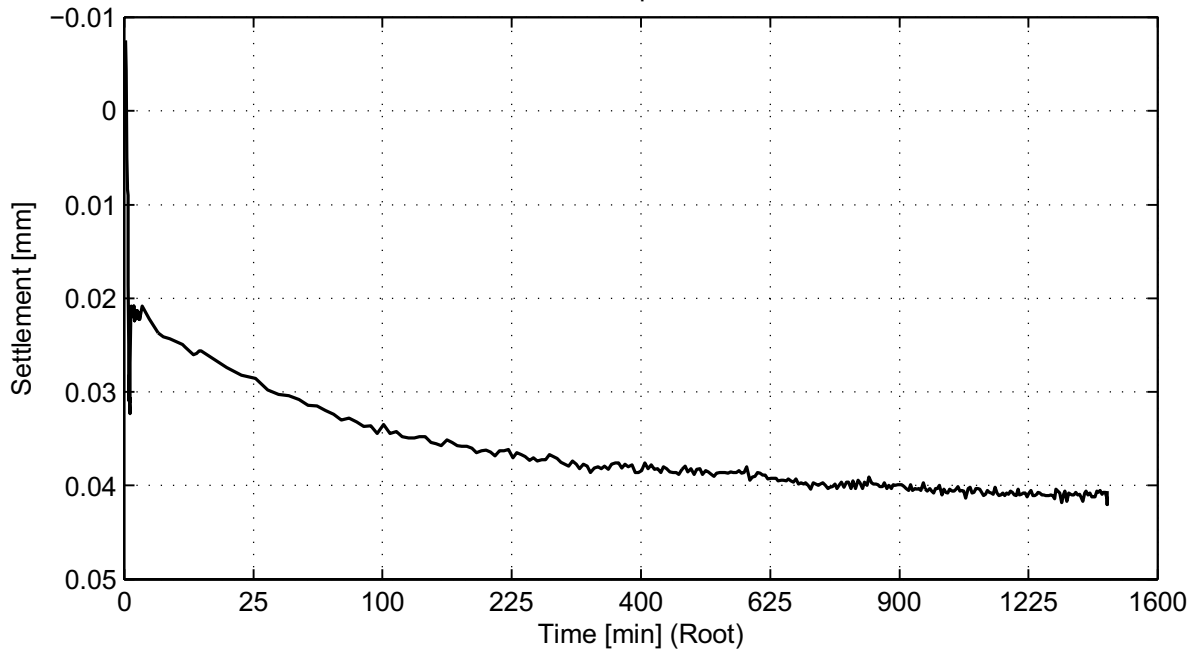
seen  
-

appendix  
SA13A

page  
11

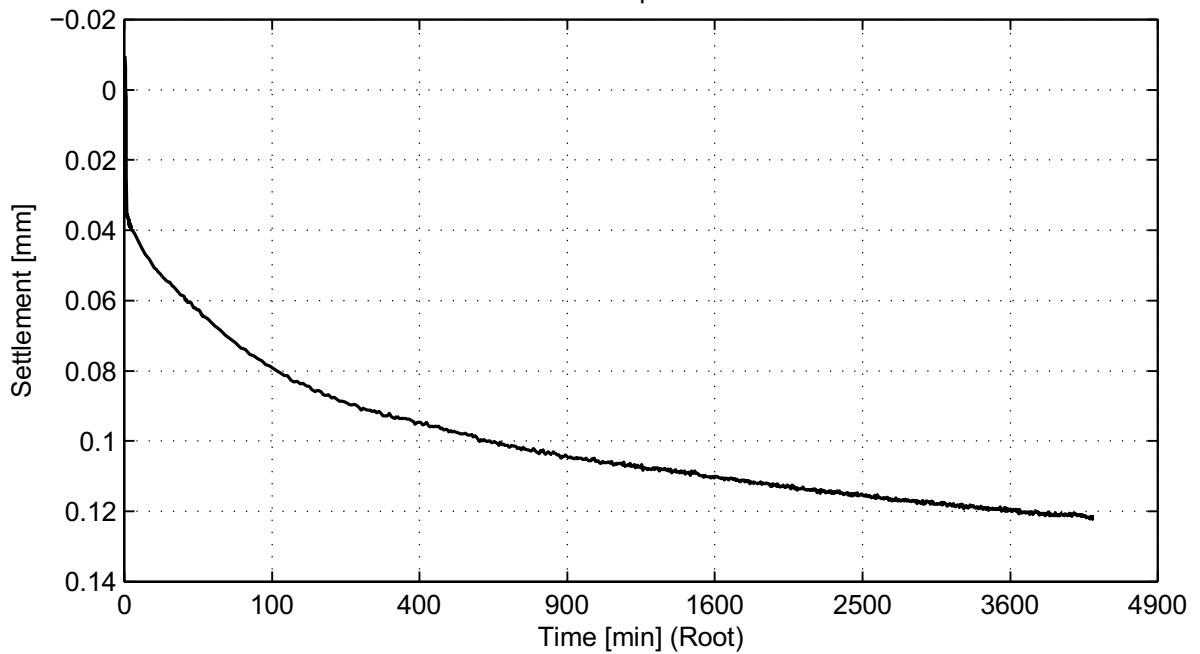
## Taylor method (page 4/4)

Load step 41 kPa



No calculation performed.

Load step 80 kPa



No calculation performed.

**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

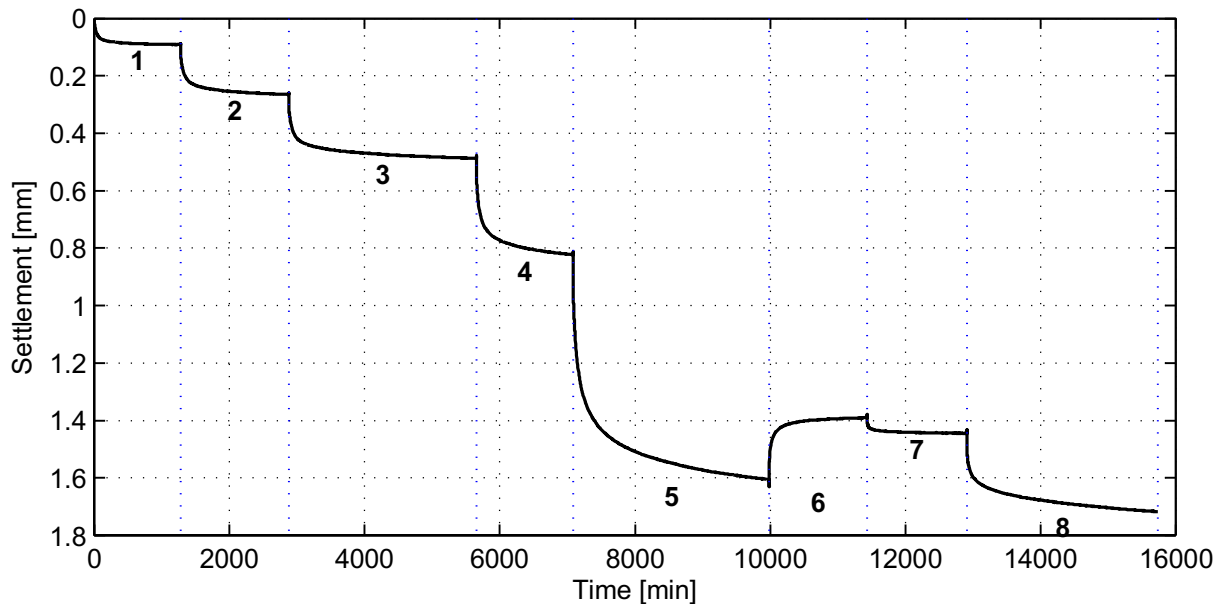
date  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 13A, depth 1.71 m till 1.67 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18  
appendix  
SA13A

seen  
-  
page  
12



### General soil and test parameters

Soil description (NEN 5104)	Ks1h1
Initial volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	14.6
Initial volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	8.1
Volumetric weight particles [kN/m <sup>3</sup> ]	23.3
Initial water content [%]	79.7
Initial sample height [mm]	20
Initial sample diameter [mm]	63
Initial saturation [-]	1.0
Final volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	15.1
Final volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	8.8
Final water content [%]	72.6
Final saturation [-]	1.0
Type of test (wet/dry)	Wet
Visual disturbance sample	undisturbed
Startdate	2012-04-12
Enddate	2012-04-23
Sample disturbance index	3.1, good
Lab temperature [° C]	20.5
Pc <sub>Becker</sub> [kPa]	57.4
Pc <sub>Janbu</sub> [kPa]	-

Load step number	Load [kPa]
1	10
2	21
3	40
4	80
5	161
6	41
7	81
8	162

References:  
 Isotachenparameters: CUR recommendation 101  
 Pc Becker: Becker et al. (1987)  
 Pc Janbu: Janbu (1969)  
 Sample disturbance index: Lunne et al (2006)

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15CA, depth 0.26 m till 0.22 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

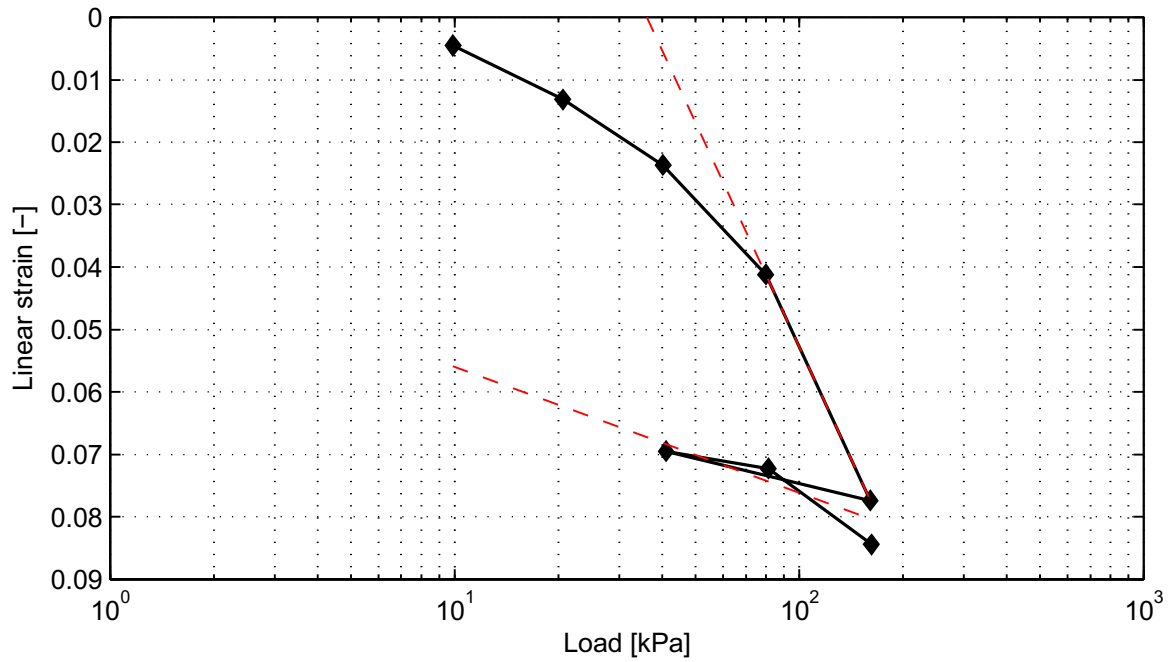
project  
 1203768.18

appendix  
 SA15CA

seen  
 -

page  
 1

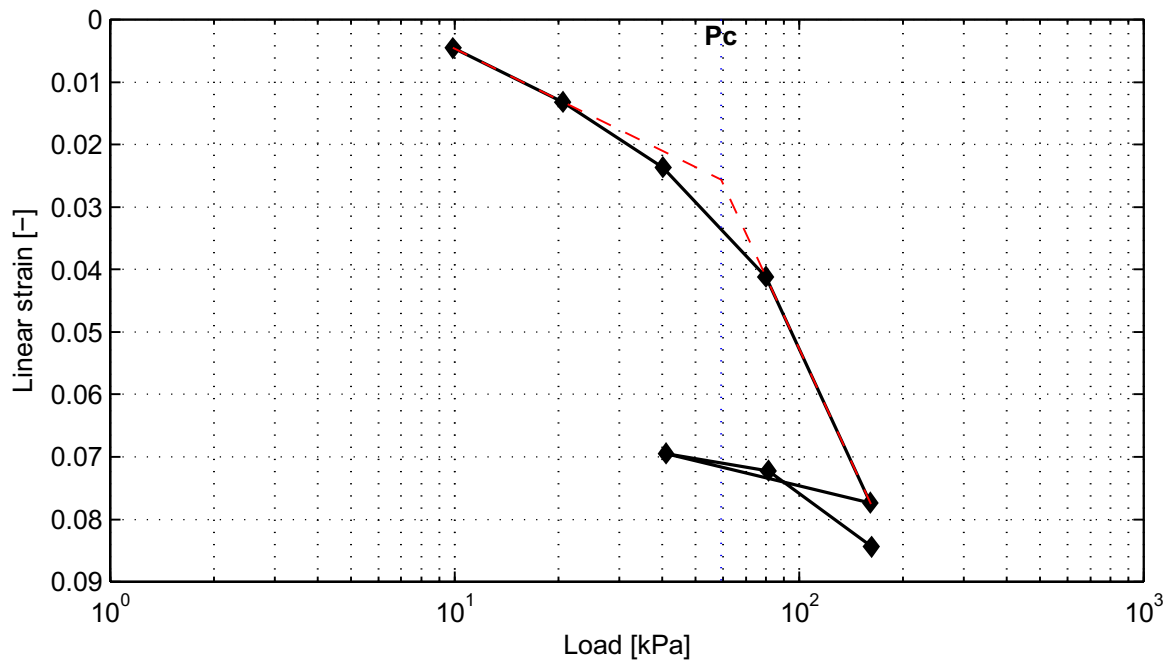
### NEN-Bjerrum method



RR = 2.0e-002  
CR = 1.2e-001

Ca = 7.4e-003

Vo = 2.86



Pc = 59.2 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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15CA, depth 0.26 m till 0.22 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

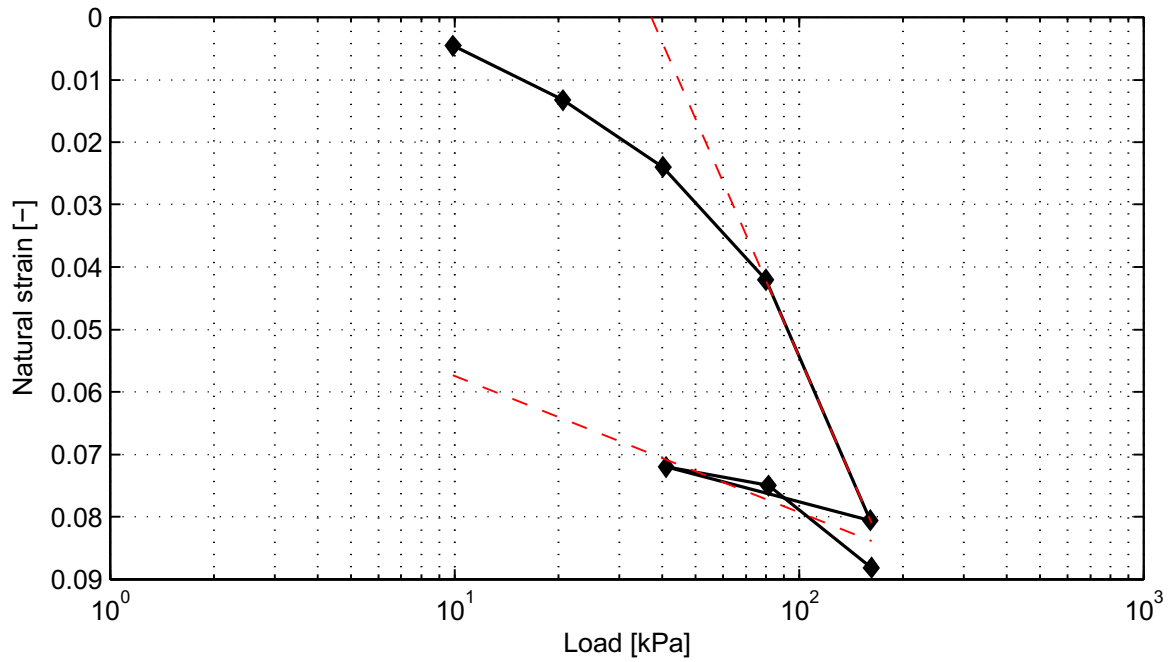
appendix  
SA15CA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:08

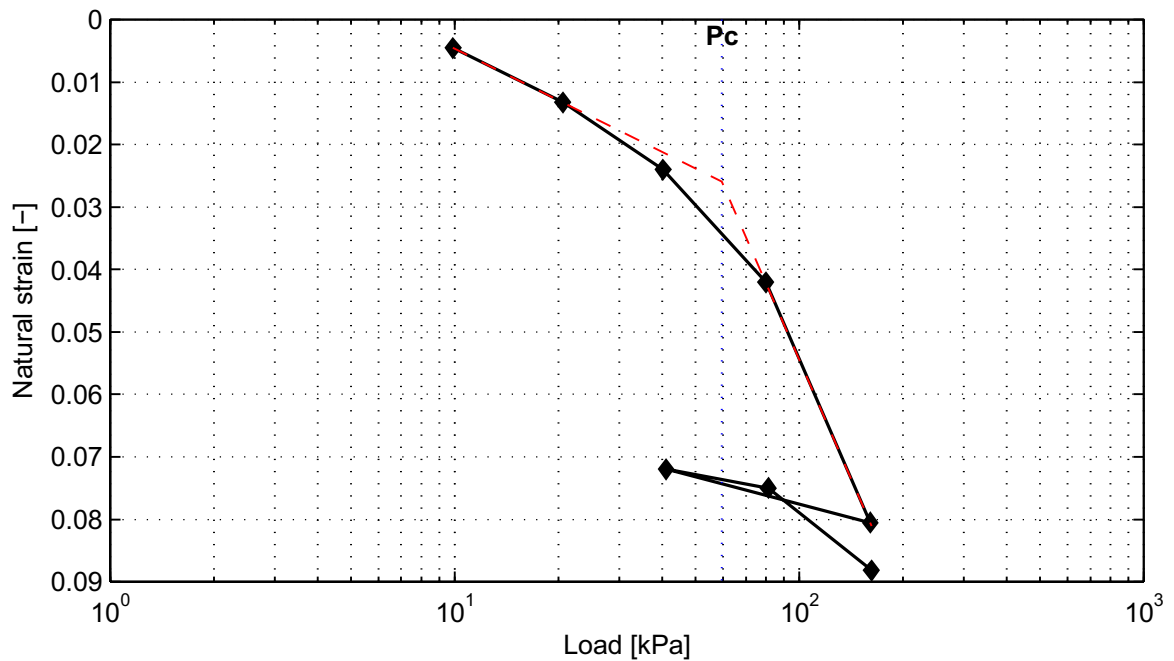


### Isotachen method



A = 9.5e-003  
B = 5.5e-002

C = 3.0e-003



Pc = 59.7 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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15CA, depth 0.26 m till 0.22 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

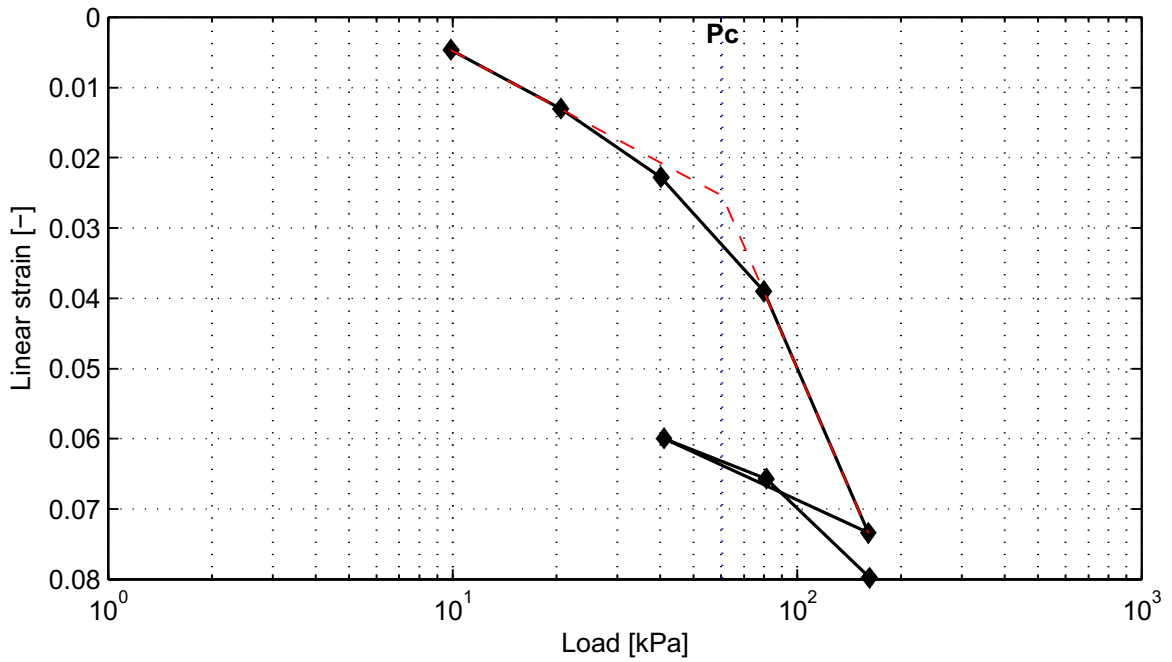
Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA15CA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:08

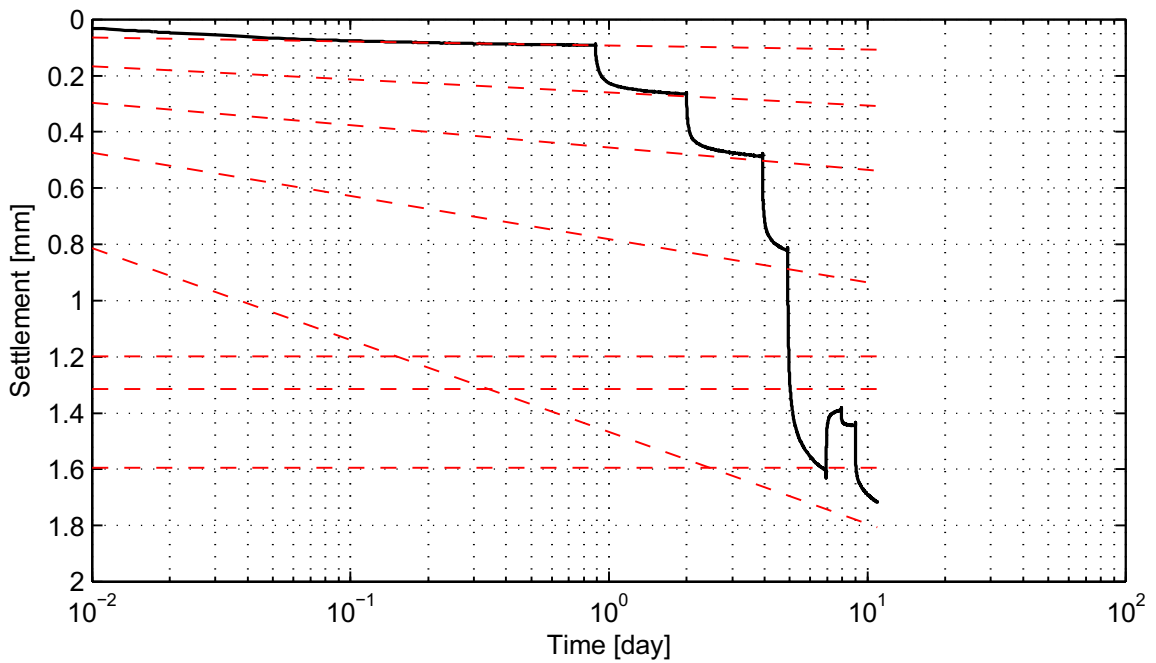
### Koppejan method



$C_p = 8.7e+001$   
 $C_{p'} = 2.0e+001$

$C_s = 4.5e+002$   
 $C_{s'} = 8.0e+001$

$C = 4.9e+001$   
 $C' = 1.0e+001$   
 $P_{c'} = 60.6 \text{ kPa}$



$C_p = 8.7e+001$   
 $C_{p'} = 2.0e+001$

$C_s = 4.5e+002$   
 $C_{s'} = 8.0e+001$

$C = 4.9e+001$   
 $C' = 1.0e+001$   
 $P_{c'} = 60.6 \text{ kPa}$

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
 Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15CA, depth 0.26 m till 0.22 m NAP

project  
 1203768.18

seen  
 -

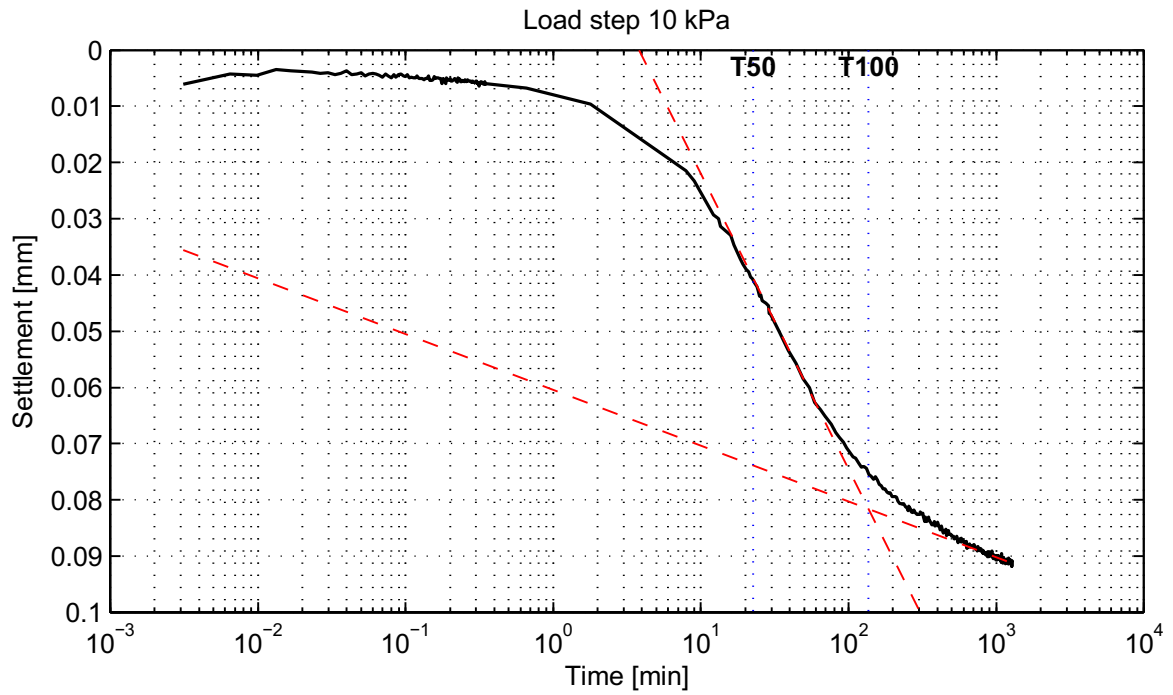
Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
 SA15CA

page  
 4

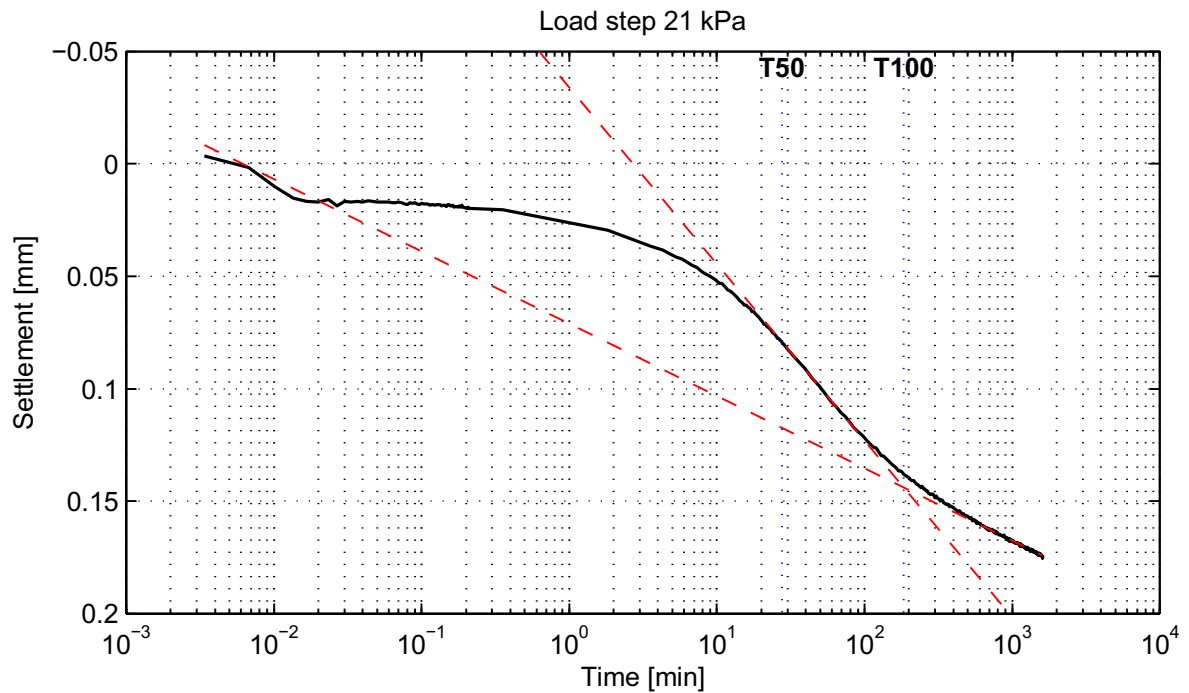
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:08

## Casagrande method (page 1/4)



$C_v = 1.1e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 4.1e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 4.5e-011 \text{ m/s}$



$C_v = 8.9e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 6.1e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 5.3e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15CA, depth 0.26 m till 0.22 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

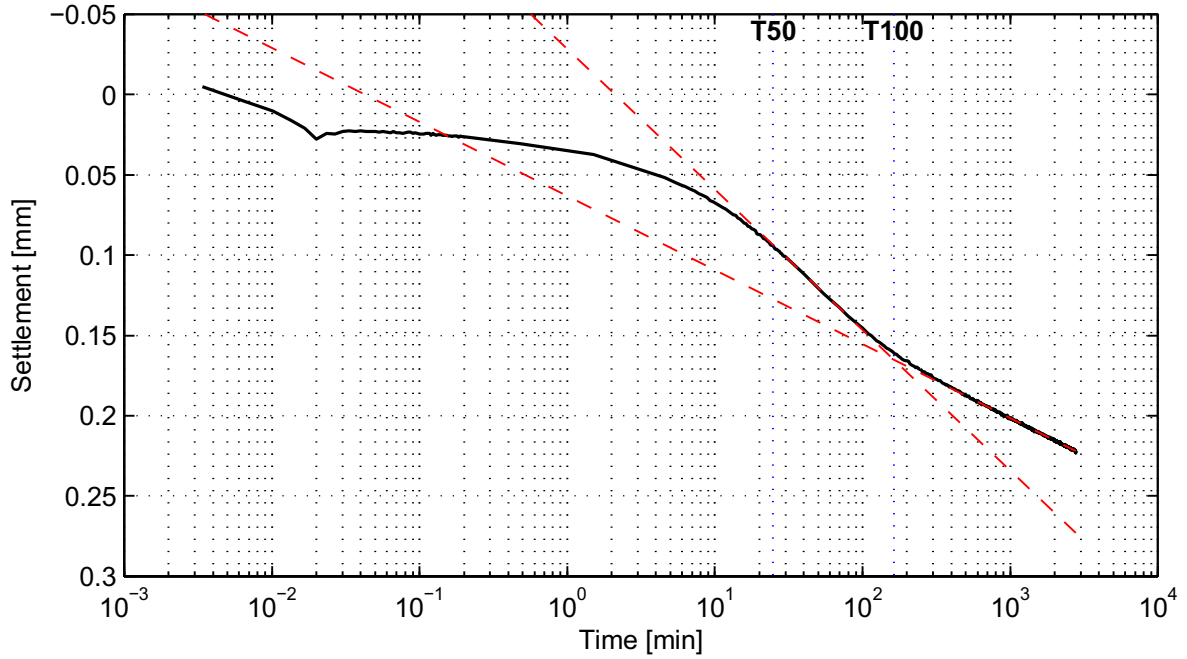
seen  
 -

appendix  
 SA15CA

page  
 5

### Casagrande method (page 2/4)

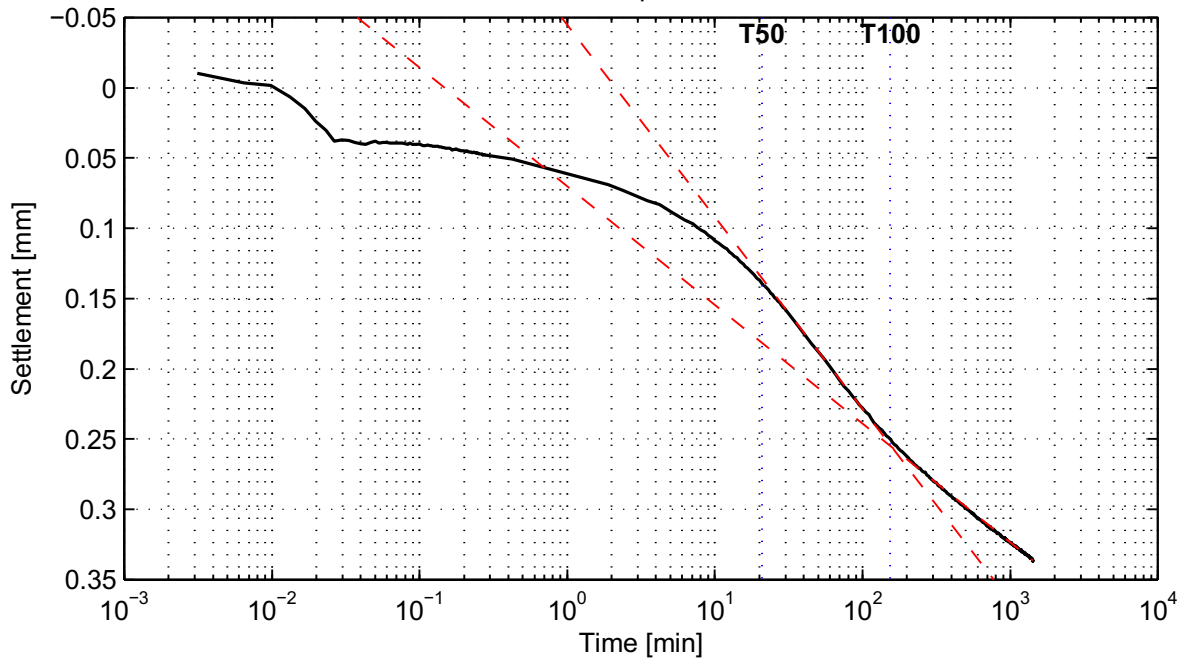
Load step 40 kPa



$C_v = 9.7e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 3.6e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 3.5e-011 \text{ m/s}$

Load step 80 kPa



$C_v = 1.1e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 4.3e-003$

$M_v = 3.0e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 3.3e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15CA, depth 0.26 m till 0.22 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

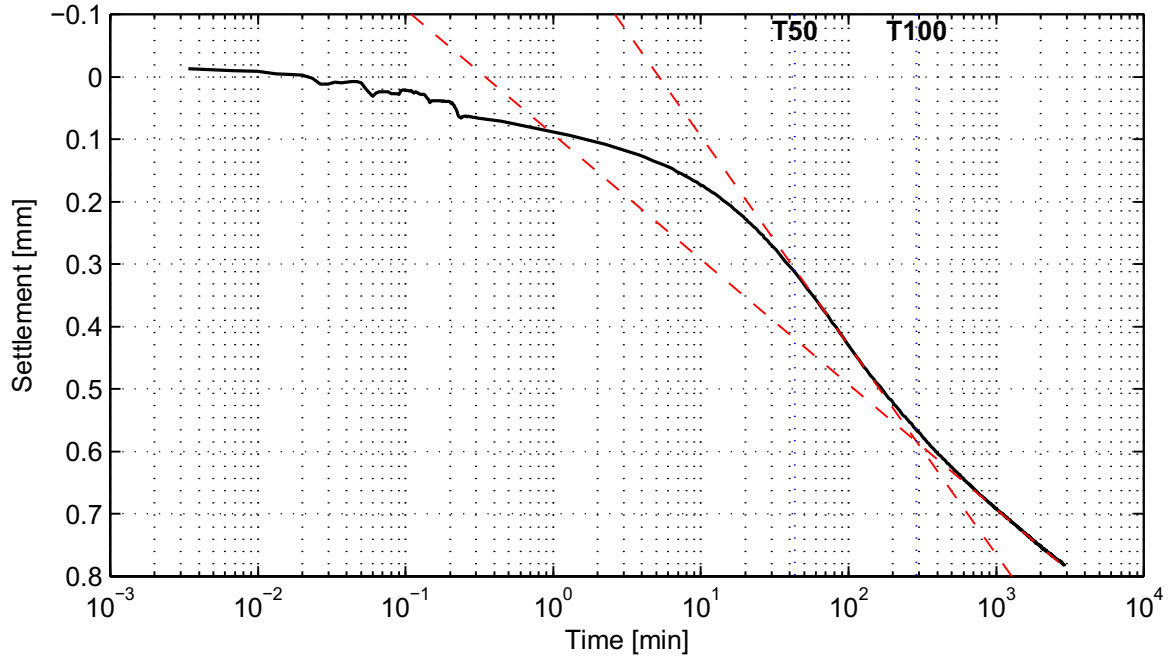
seen  
 -

appendix  
 SA15CA

page  
 6

### Casagrande method (page 3/4)

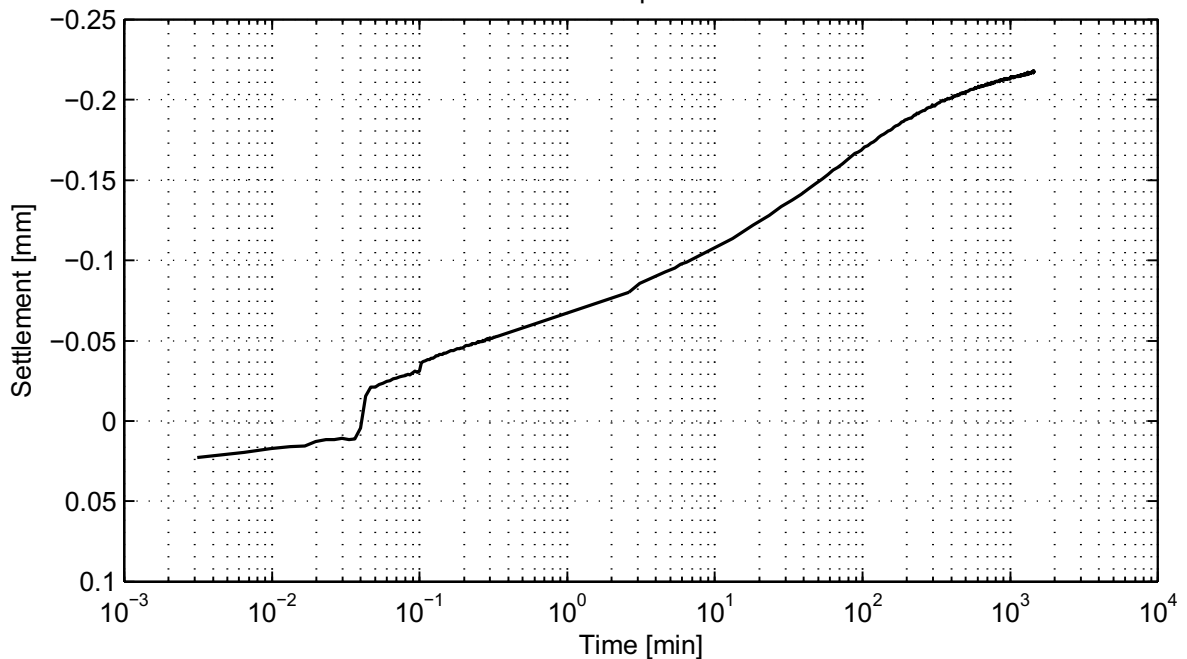
Load step 161 kPa



$C_v = 5.2e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 1.0e-002$

$M_v = 3.5e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.8e-011 \text{ m/s}$

Load step 41 kPa



No calculation performed.

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15CA, depth 0.26 m till 0.22 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

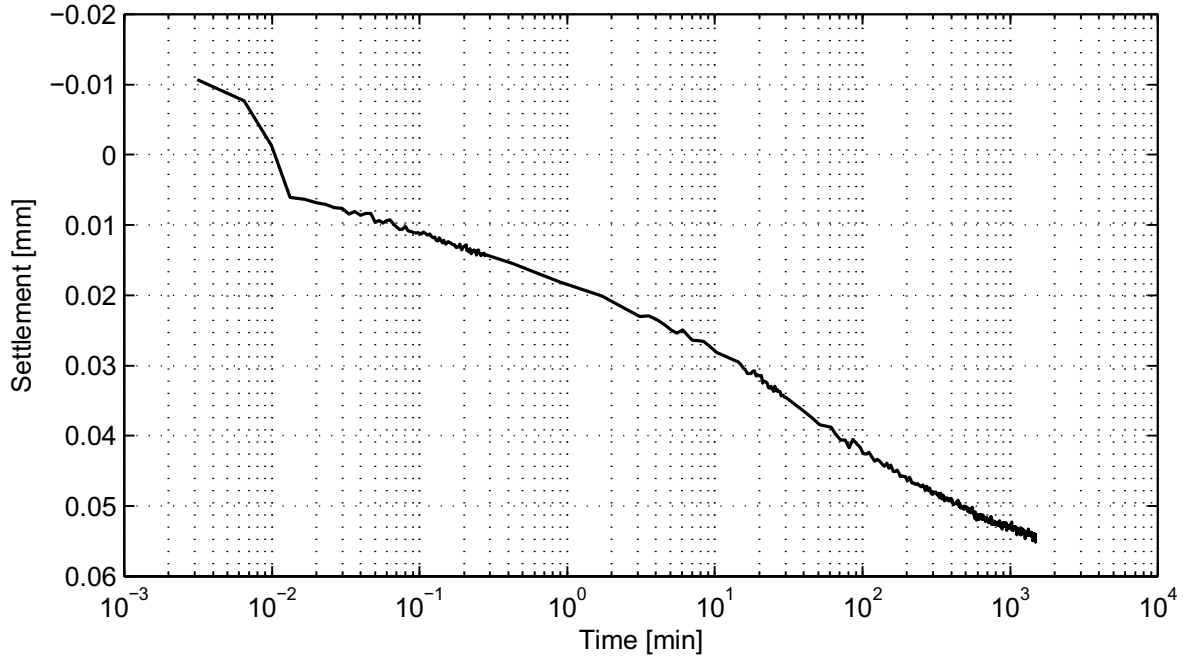
seen  
 -

appendix  
 SA15CA

page  
 7

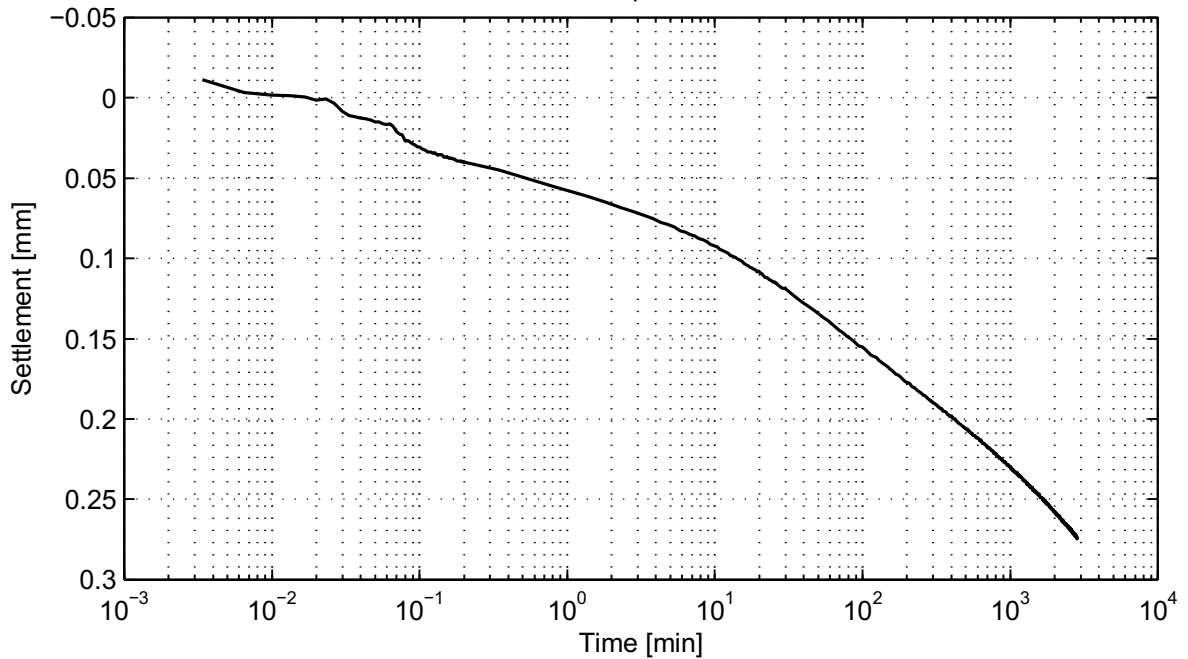
### Casagrande method (page 4/4)

Load step 81 kPa



No calculation performed.

Load step 162 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15CA, depth 0.26 m till 0.22 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

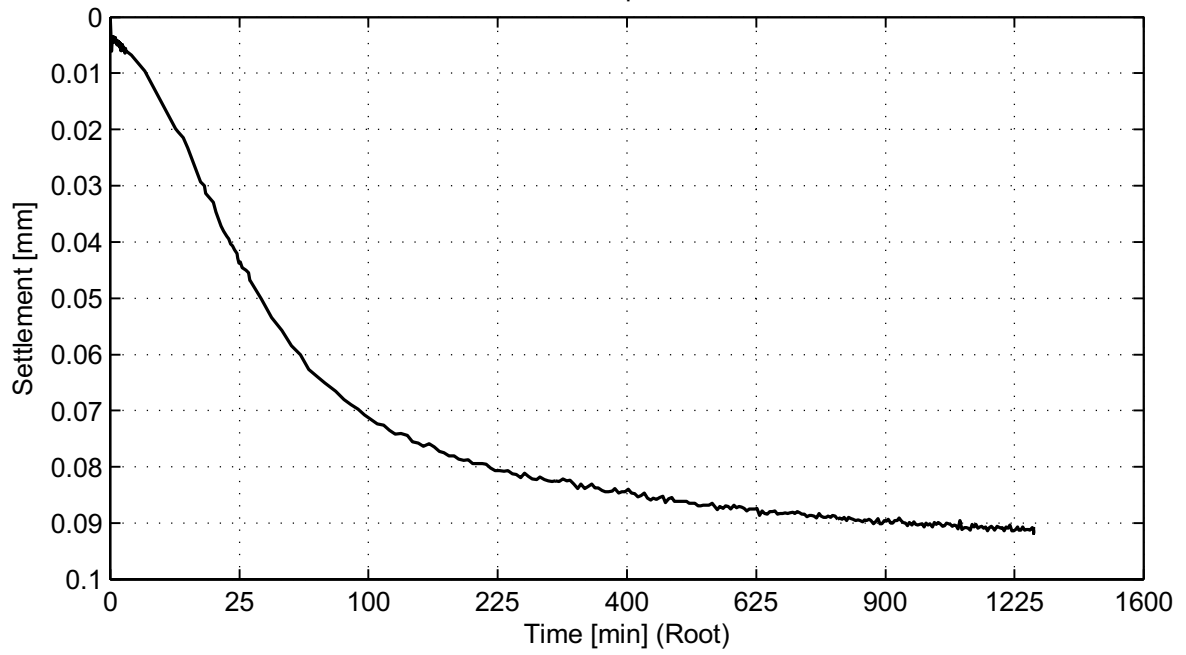
project  
1203768.18  
appendix  
SA15CA

seen  
-  
page  
8

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:08

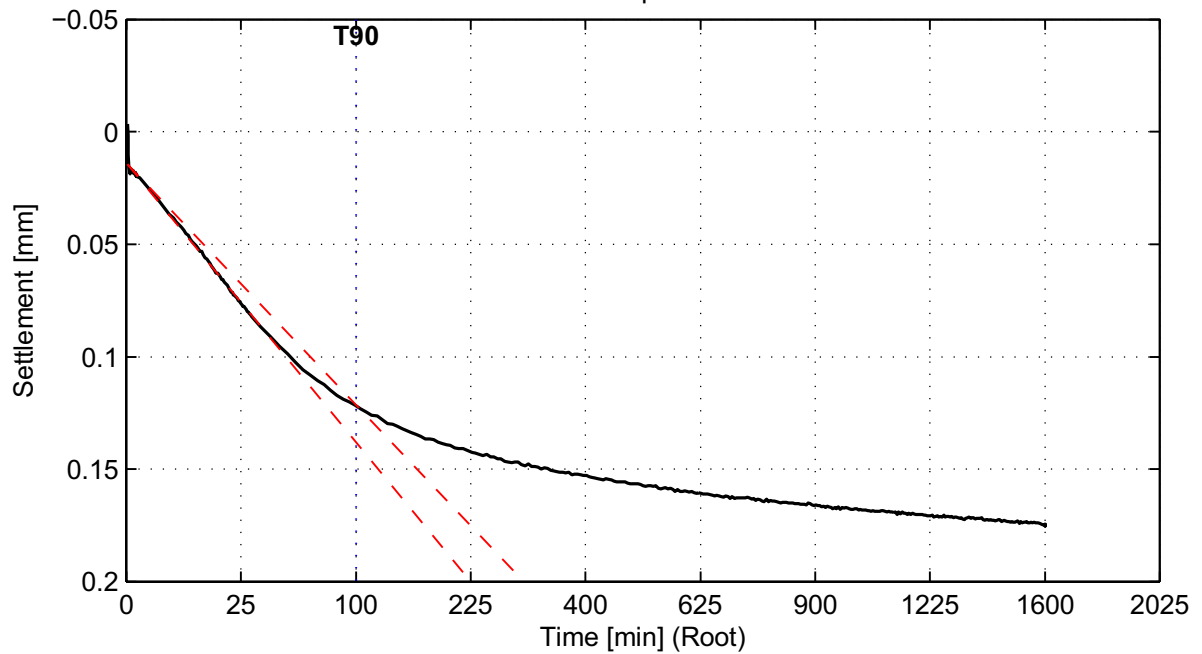
## Taylor method (page 1/4)

Load step 10 kPa



No calculation performed.

Load step 21 kPa



$C_v = 1.1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15CA, depth 0.26 m till 0.22 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

seen  
-

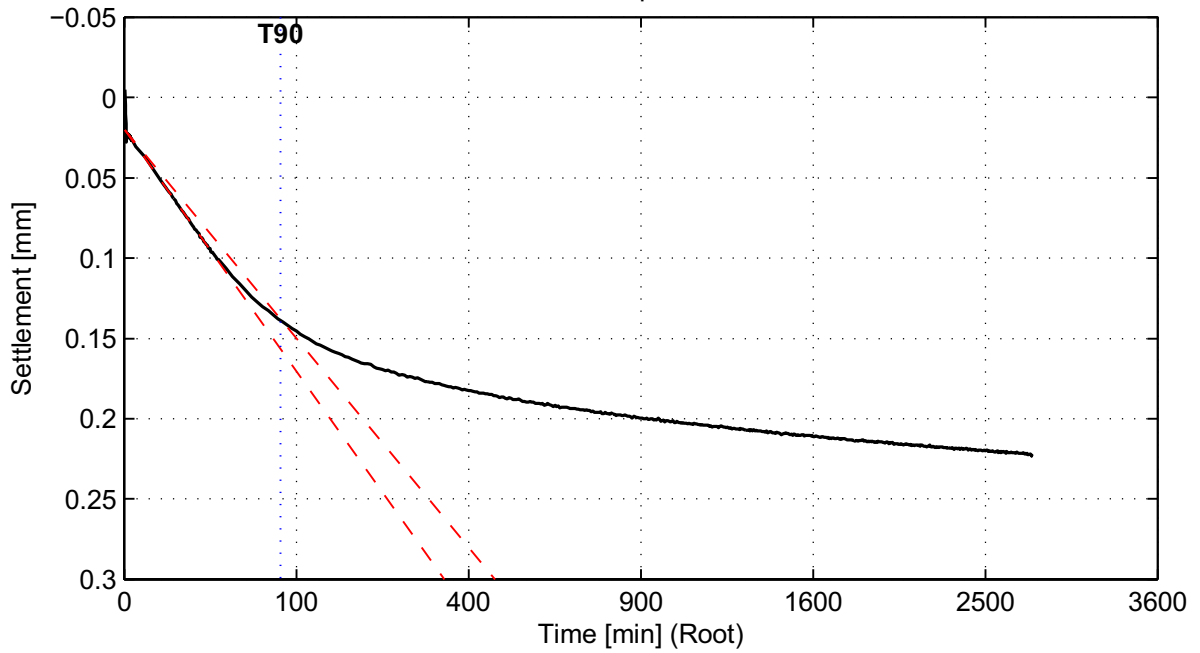
appendix  
SA15CA

page  
9

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:08

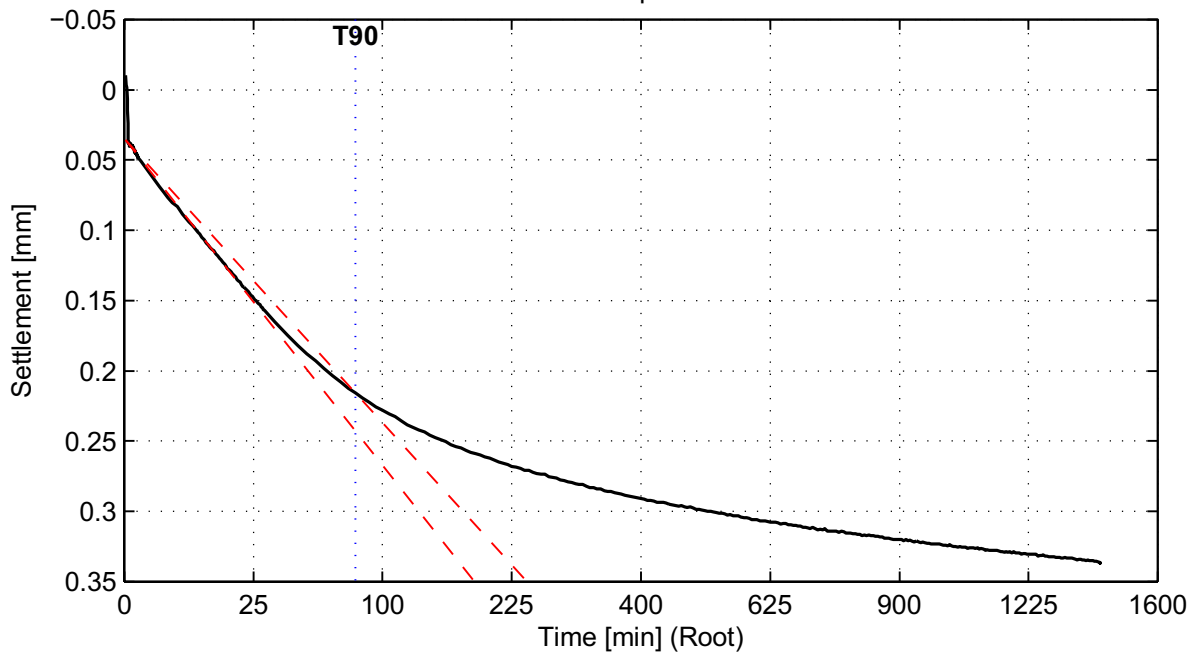
## Taylor method (page 2/4)

Load step 40 kPa



$C_v = 1.3e-008 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 80 kPa



$C_v = 1.3e-008 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15CA, depth 0.26 m till 0.22 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18  
appendix  
SA15CA

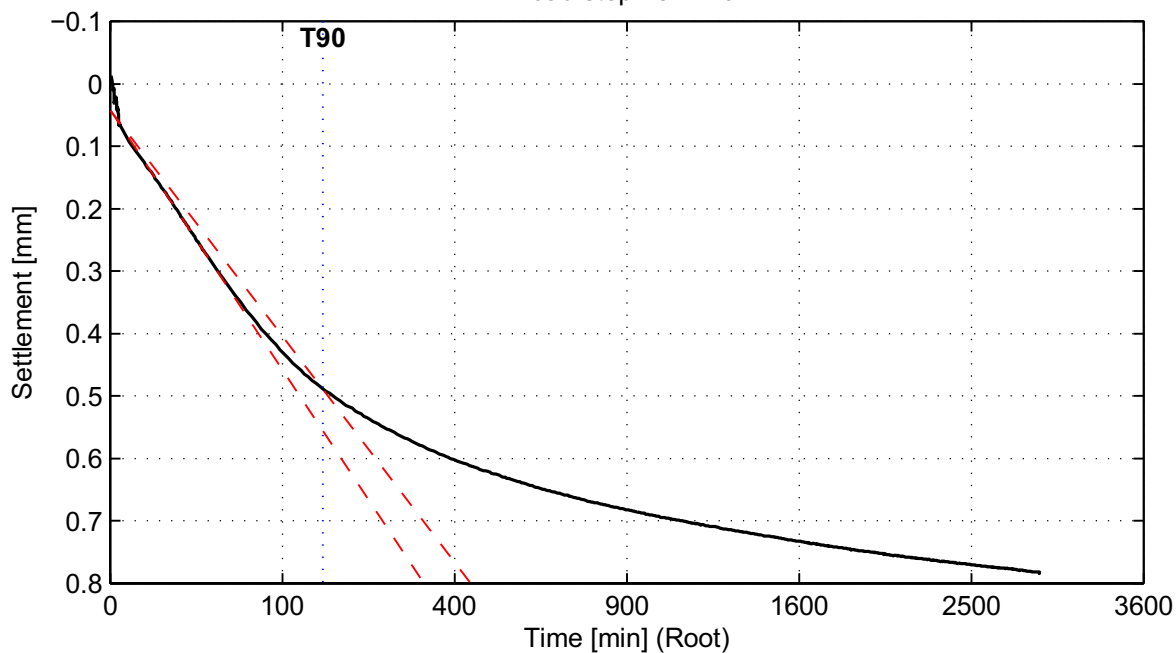
seen  
-  
page  
10

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:08



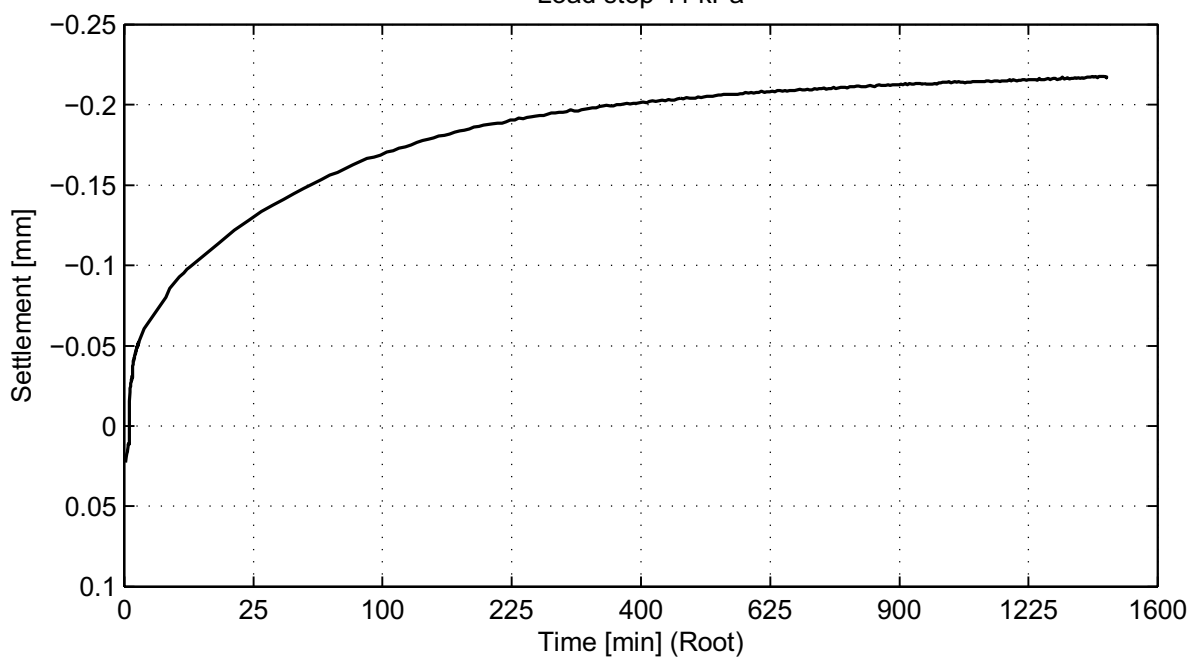
## Taylor method (page 3/4)

Load step 161 kPa



$C_v = 6.2e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 41 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15CA, depth 0.26 m till 0.22 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

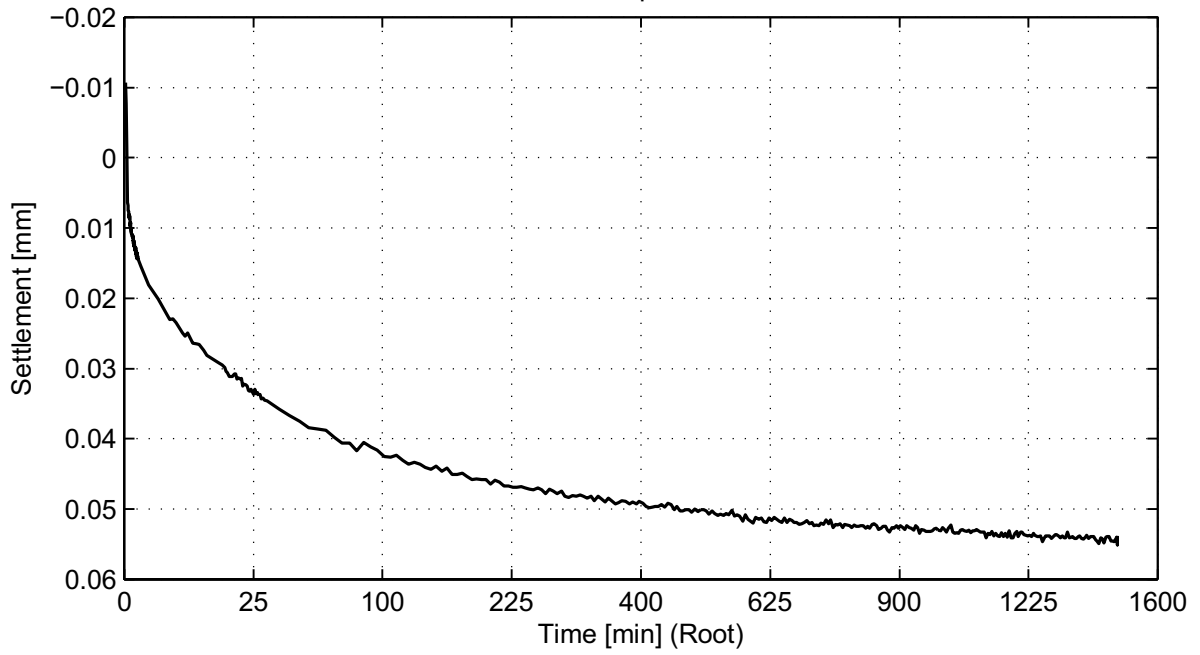
seen  
-

appendix  
SA15CA

page  
11

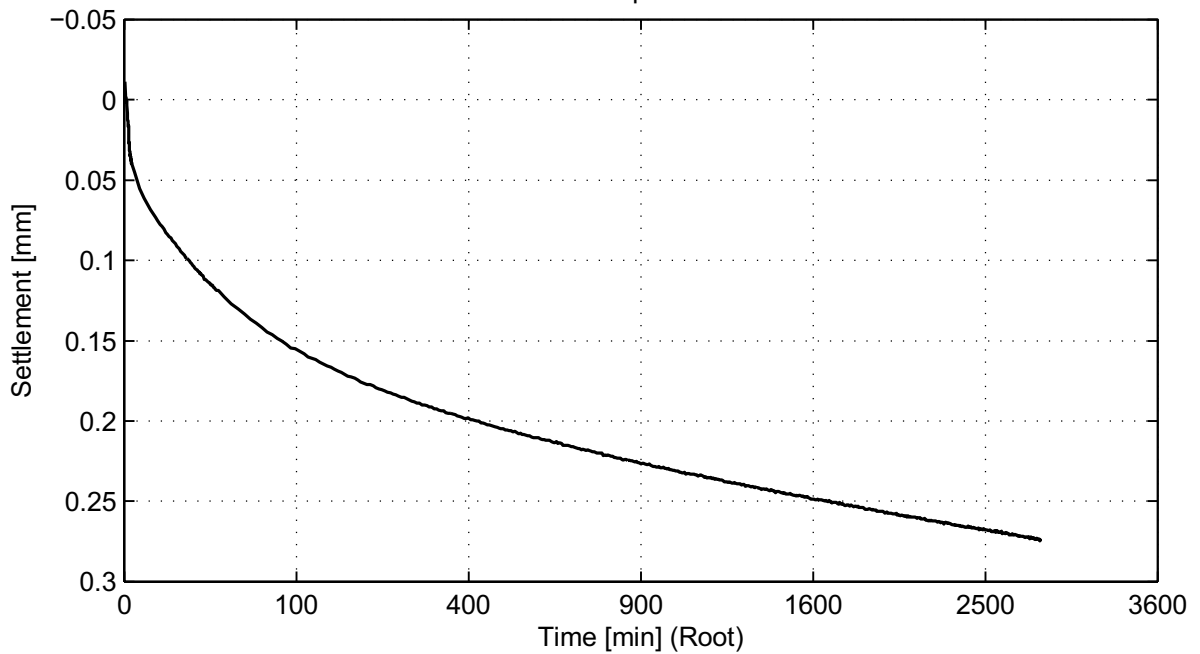
## Taylor method (page 4/4)

Load step 81 kPa



No calculation performed.

Load step 162 kPa



No calculation performed.

**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

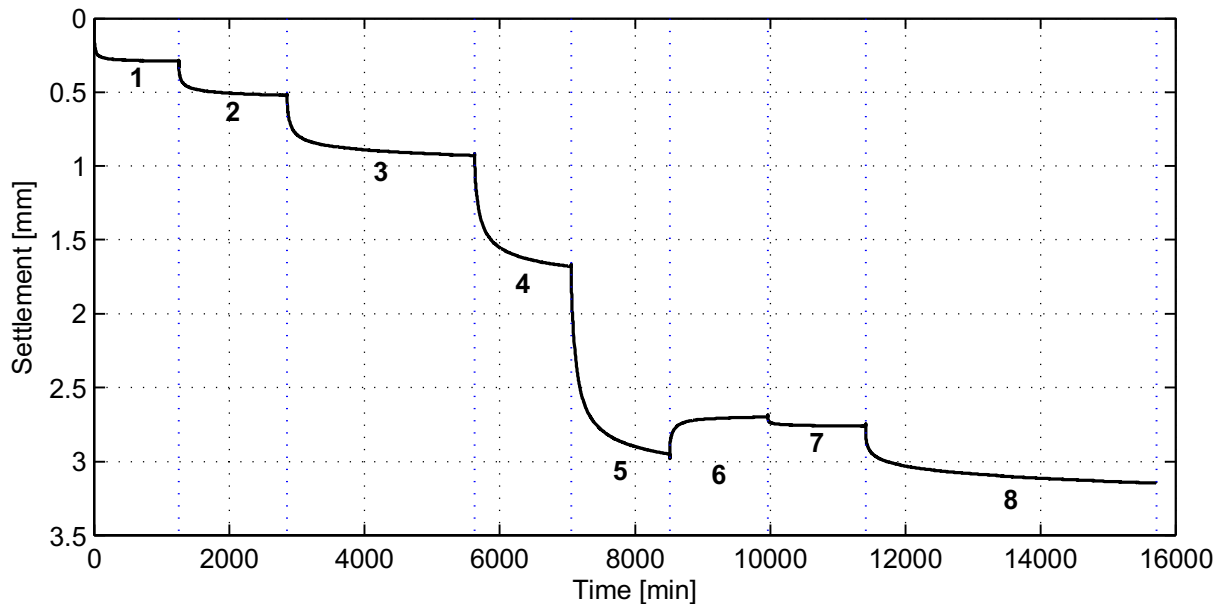
date  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15CA, depth 0.26 m till 0.22 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18  
appendix  
SA15CA

seen  
-  
page  
12



### General soil and test parameters

Soil description (NEN 5104)	Ks2
Initial volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	14.7
Initial volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	8.1
Volumetric weight particles [kN/m <sup>3</sup> ]	24.1
Initial water content [%]	80.5
Initial sample height [mm]	20
Initial sample diameter [mm]	63
Initial saturation [-]	1.0
Final volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	15.8
Final volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	9.6
Final water content [%]	64.3
Final saturation [-]	1.0
Type of test (wet/dry)	Wet
Visual disturbance sample	undisturbed
Startdate	2012-04-12
Enddate	2012-04-23
Sample disturbance index	3.2, good
Lab temperature [° C]	20.4
Pc <sub>Becker</sub> [kPa]	99.8
Pc <sub>Janbu</sub> [kPa]	-

Load step number	Load [kPa]
1	20
2	40
3	79
4	160
5	320
6	80
7	160
8	320

References:  
 Isotachenparameters: CUR recommendation 101  
 Pc Becker: Becker et al. (1987)  
 Pc Janbu: Janbu (1969)  
 Sample disturbance index: Lunne et al (2006)

**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  
 2012-05-15

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 48A, depth 0.39 m till 0.35 m NAP

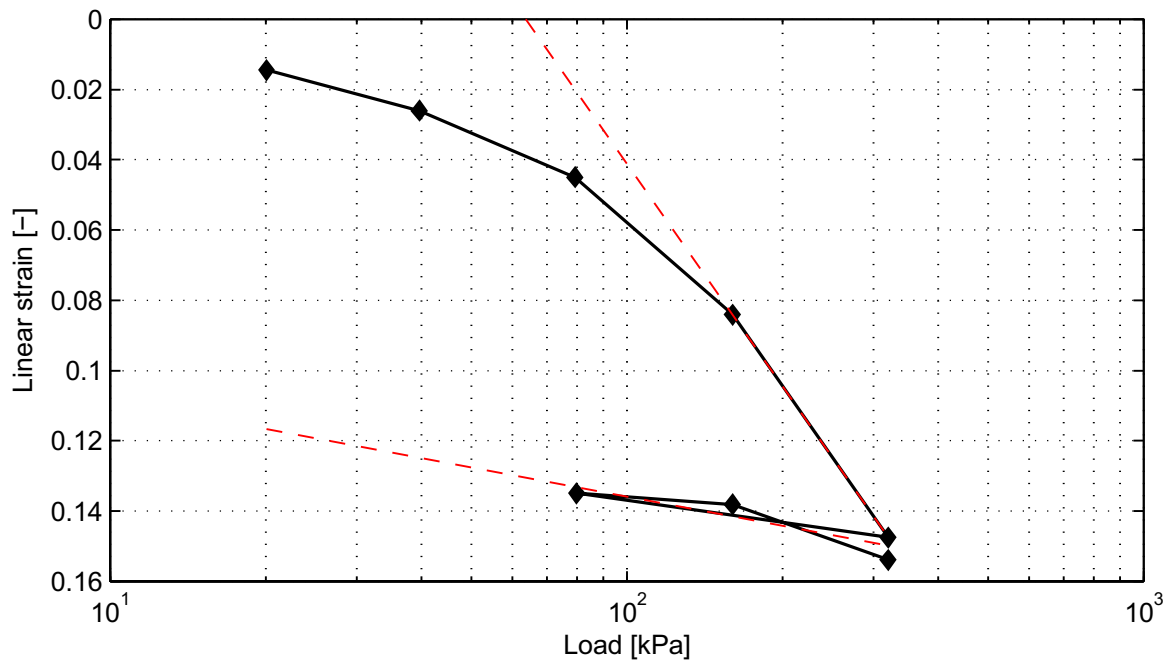
Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

seen  
 -

appendix  
 SA48A

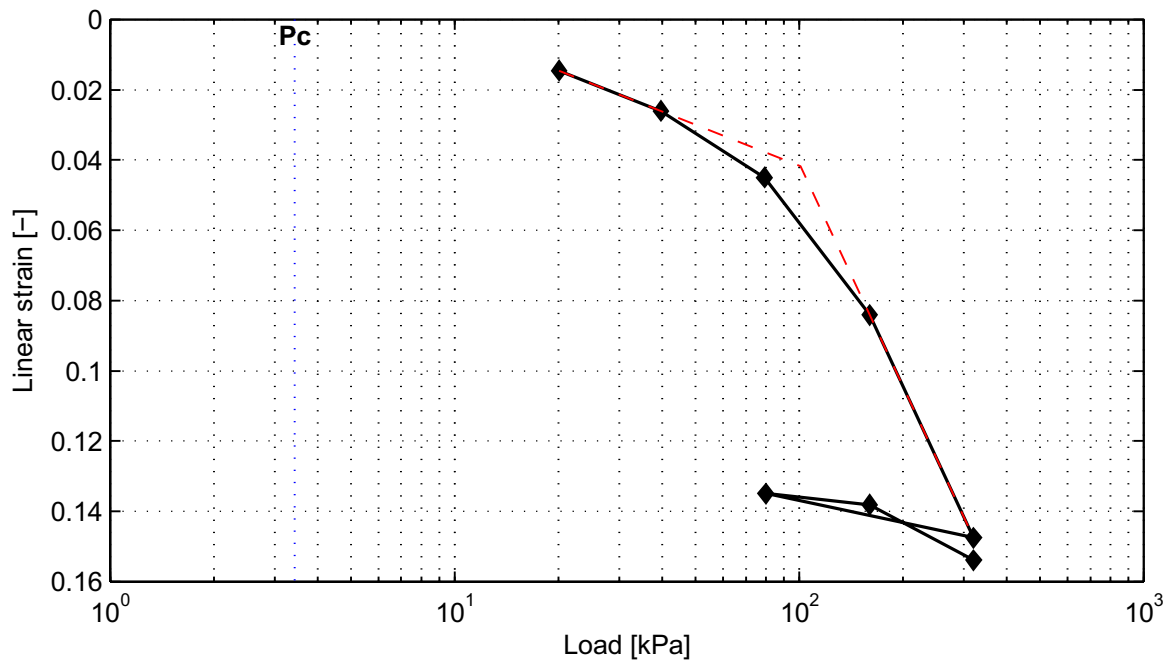
page  
 1



RR = 2.9e+000  
CR = 2.1e-001

Ca = 1.3e-002

Vo = 2.96



Pc = 3.4 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  
2012-05-15

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 48A, depth 0.39 m till 0.35 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

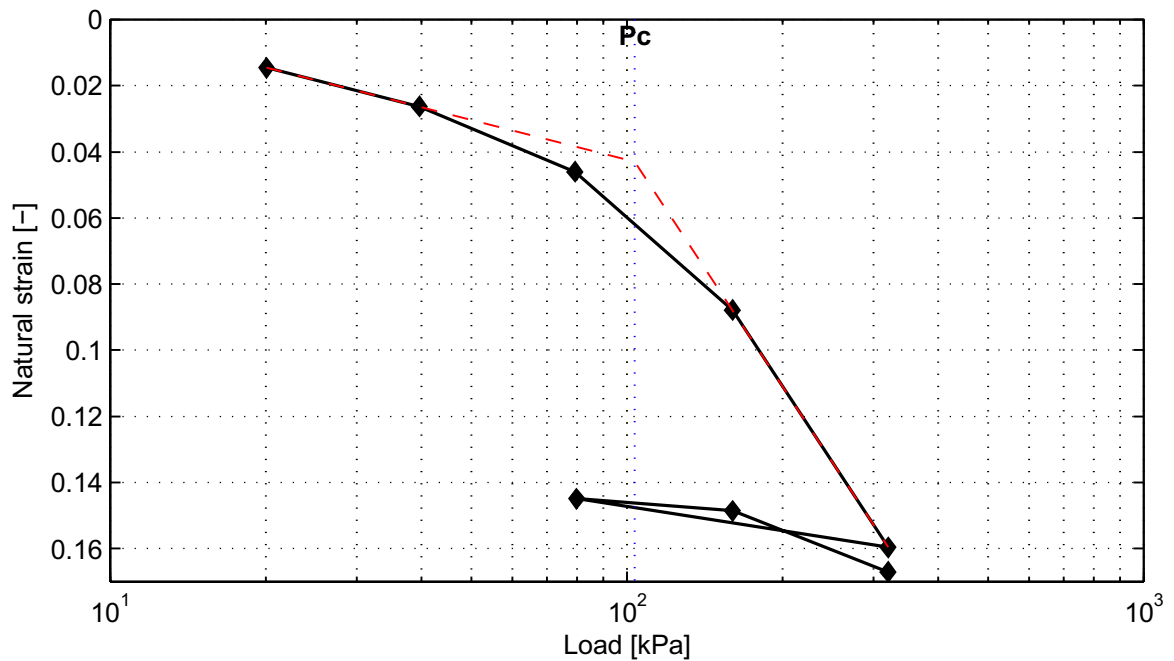
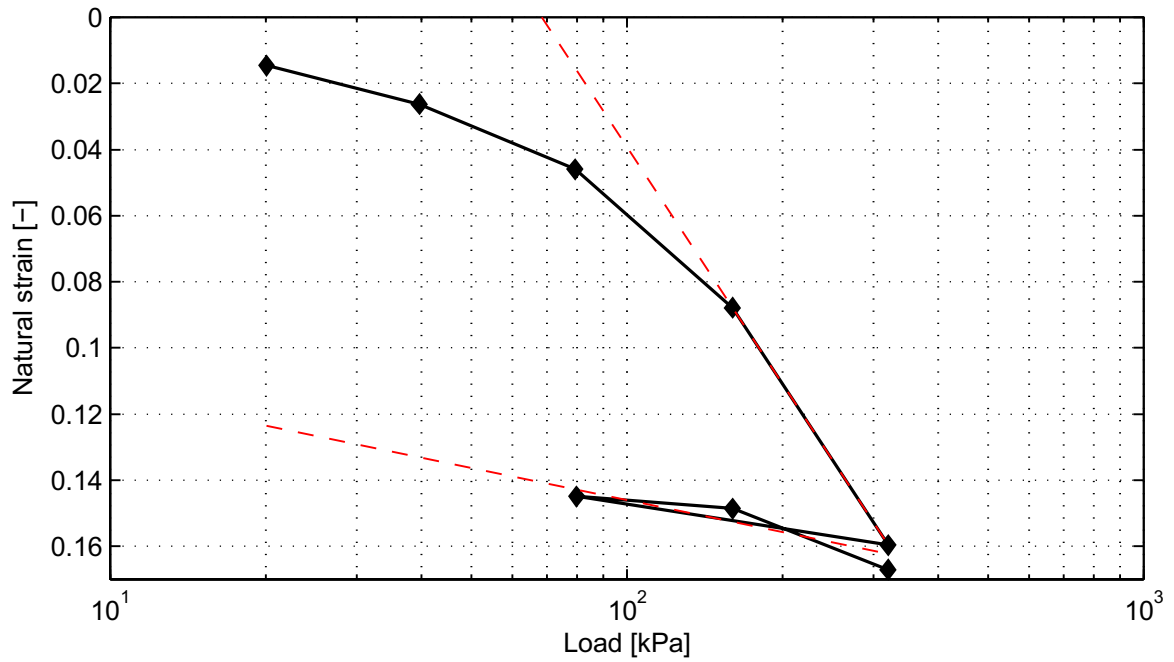
seen  
-

appendix  
SA48A

page  
2

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 10:35

### Isotachen method



$P_c = 103.6 \text{ kPa}$

**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  
2012-05-15

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 48A, depth 0.39 m till 0.35 m NAP

project  
1203768.18

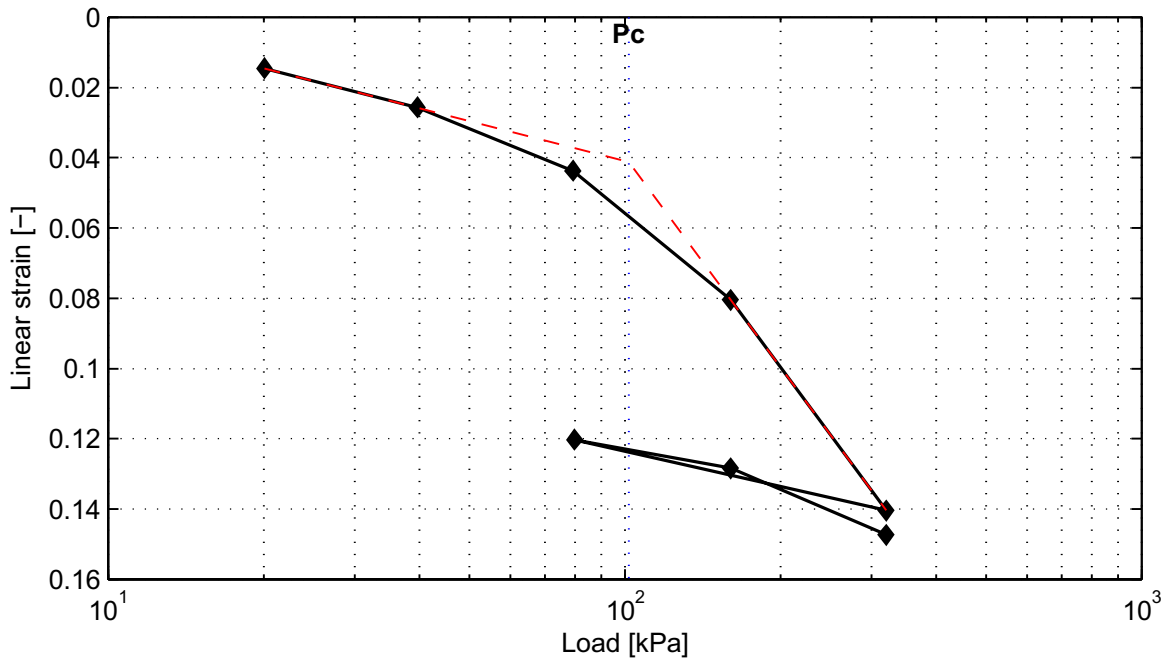
seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA48A

page  
3

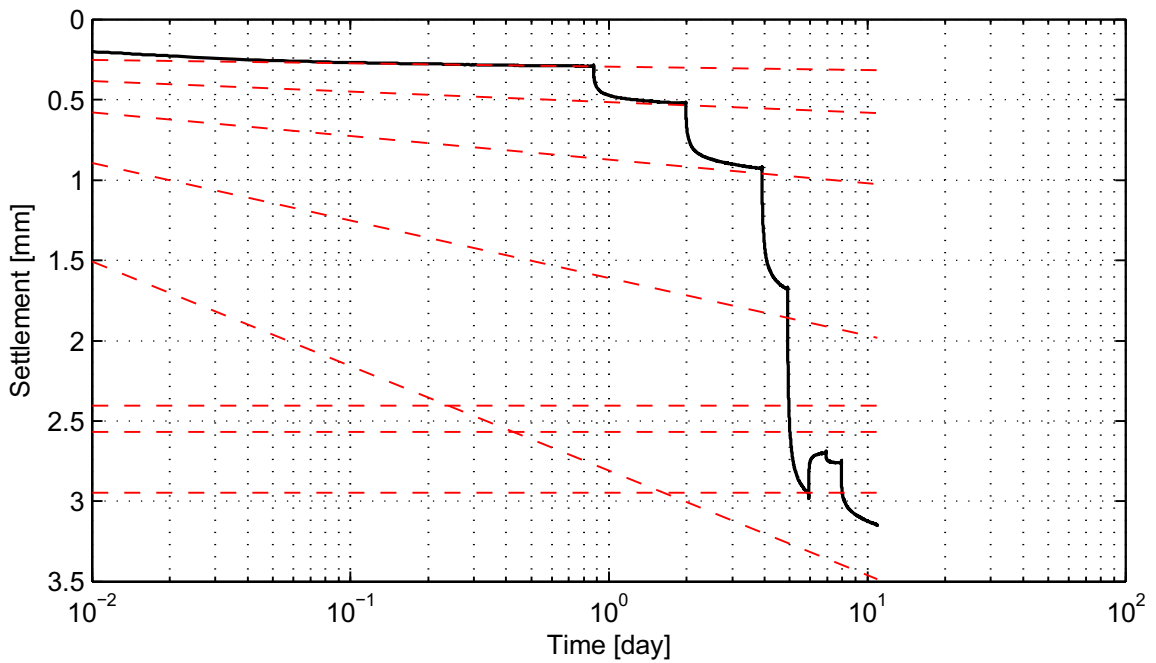
### Koppejan method



Cp = 6.1e+001  
Cp' = 1.2e+001

Cs = 3.1e+002  
Cs' = 4.7e+001

C = 3.4e+001  
C' = 5.8e+000  
Pc' = 101.7 kPa



Cp = 6.1e+001  
Cp' = 1.2e+001

Cs = 3.1e+002  
Cs' = 4.7e+001

C = 3.4e+001  
C' = 5.8e+000  
Pc' = 101.7 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  
2012-05-15

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 48A, depth 0.39 m till 0.35 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

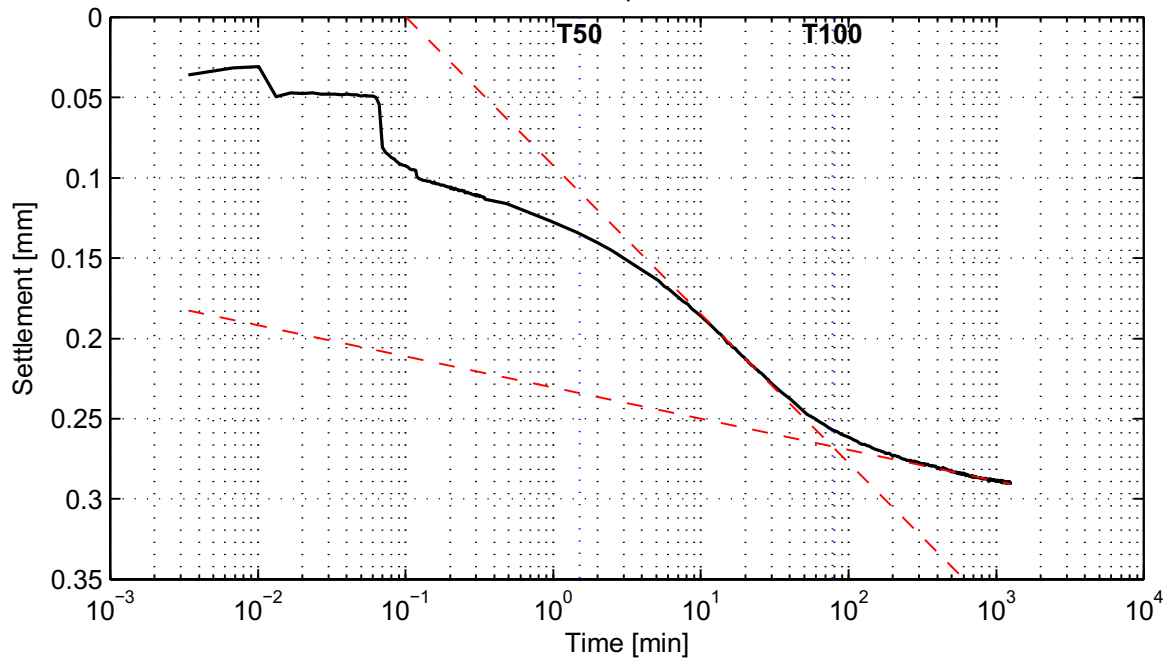
seen  
-

appendix  
SA48A

page  
4

### Casagrande method (page 1/4)

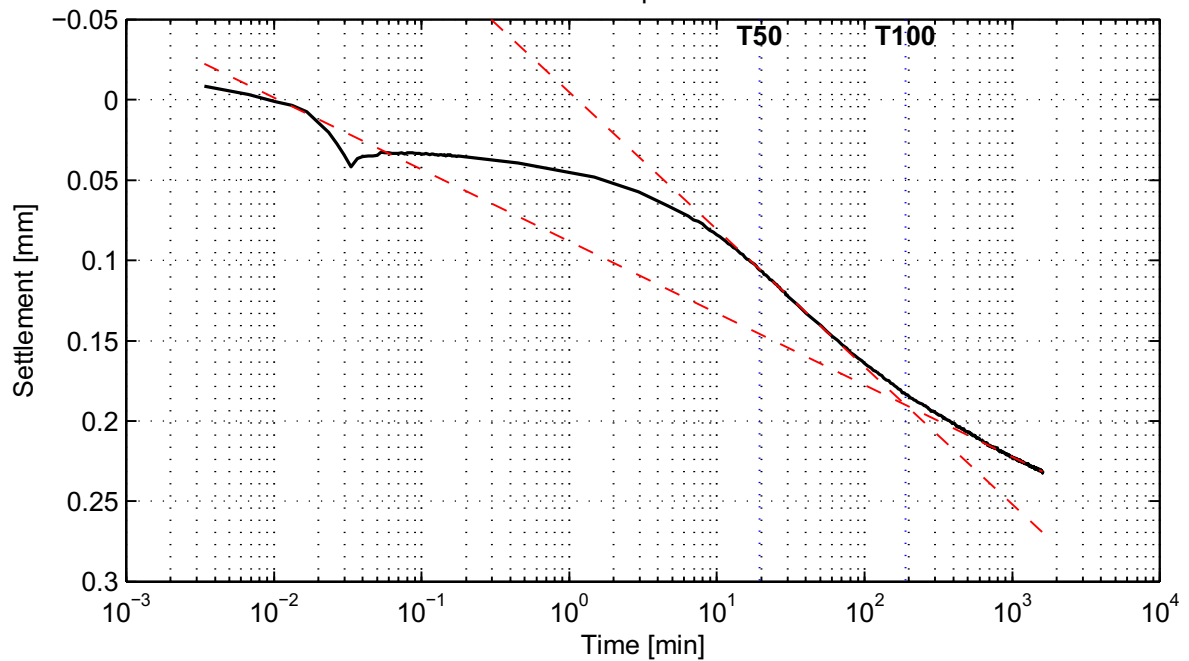
Load step 20 kPa



$C_v = 1.7e-007 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 6.6e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.1e-009 \text{ m/s}$

Load step 40 kPa



$C_v = 1.2e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 4.4e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 5.3e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-15

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 48A, depth 0.39 m till 0.35 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

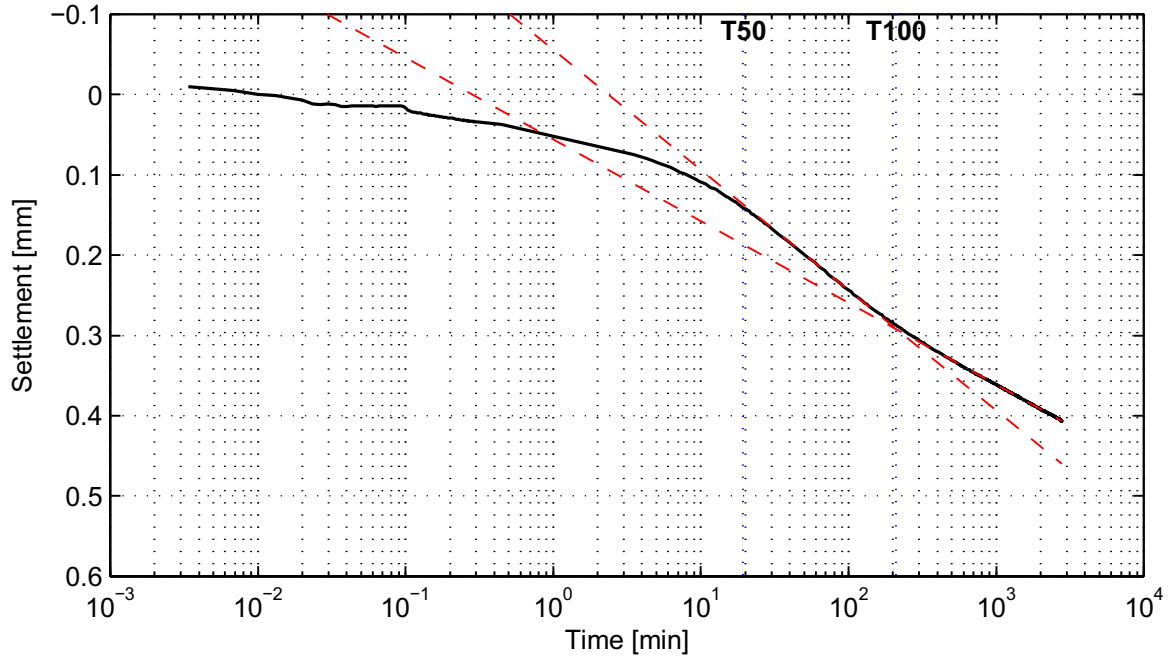
seen  
 -

appendix  
 SA48A

page  
 5

## Casagrande method (page 2/4)

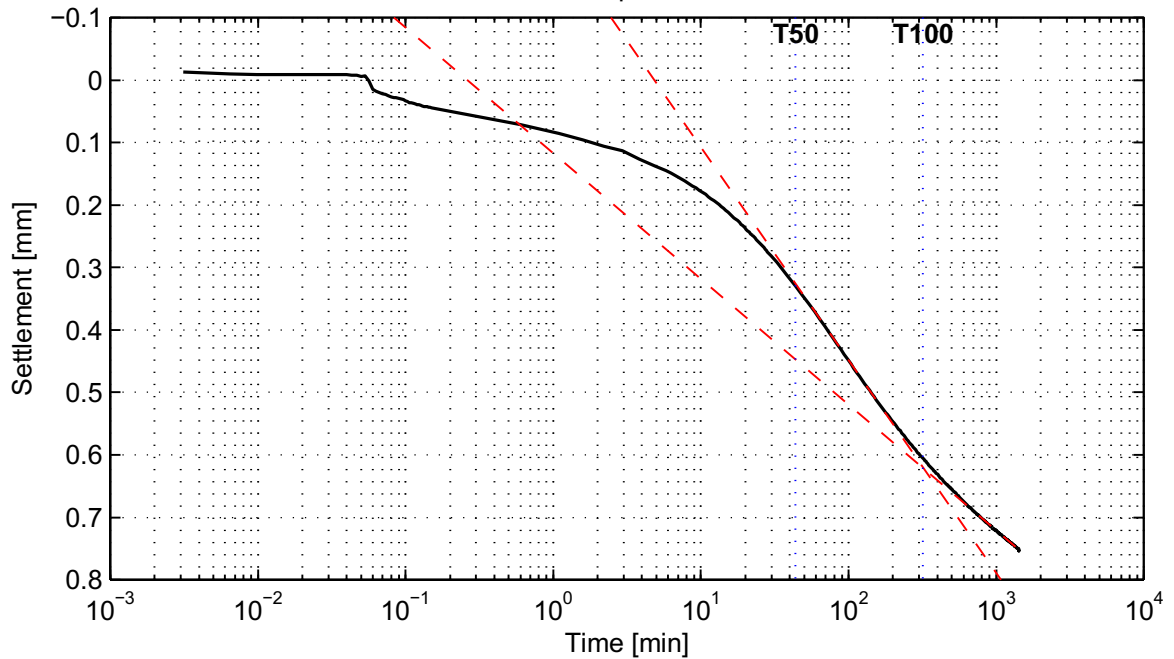
Load step 79 kPa



$C_v = 1.2e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 3.9e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 4.7e-011 \text{ m/s}$

Load step 160 kPa



$C_v = 5.0e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 1.1e-002$

$M_v = 3.8e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.9e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-15

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 48A, depth 0.39 m till 0.35 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

seen  
 -

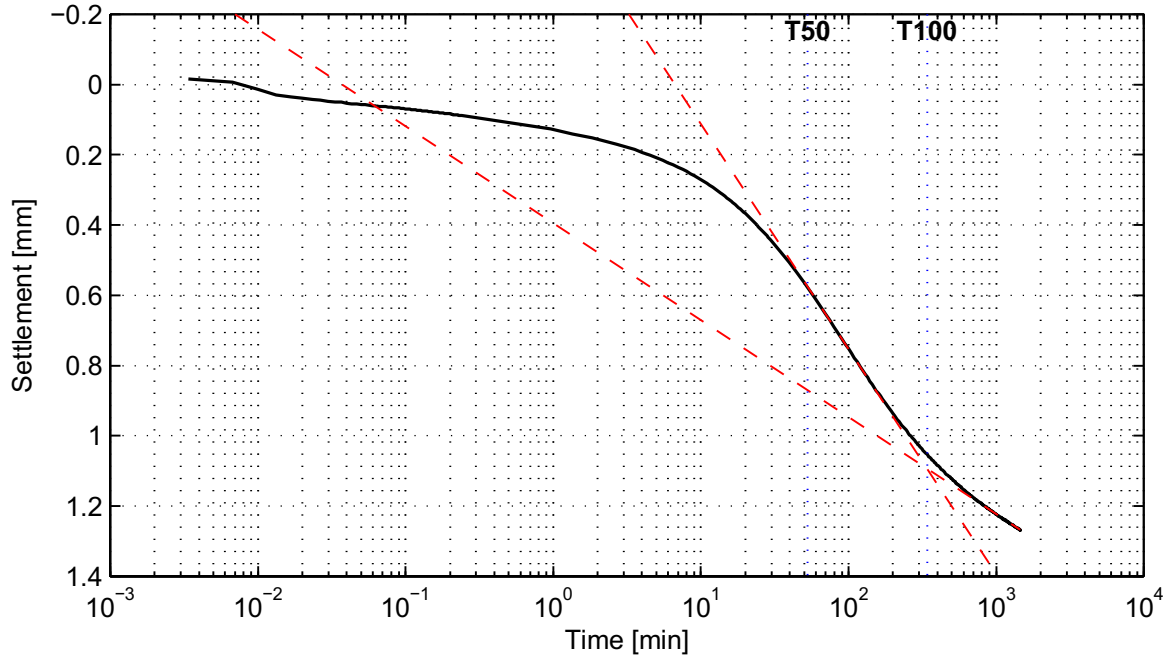
appendix  
 SA48A

page  
 6



### Casagrande method (page 3/4)

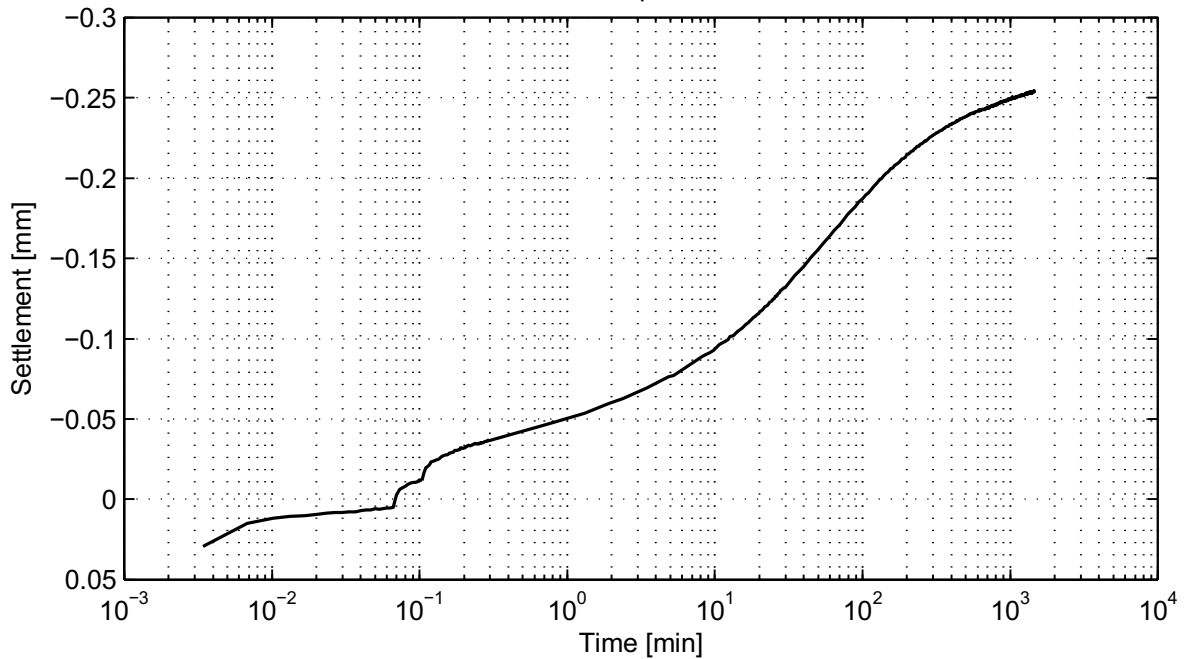
Load step 320 kPa



$C_v = 3.8e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 1.5e-002$

$M_v = 3.5e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.3e-011 \text{ m/s}$

Load step 80 kPa



No calculation performed.

**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  
 2012-05-15

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 48A, depth 0.39 m till 0.35 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

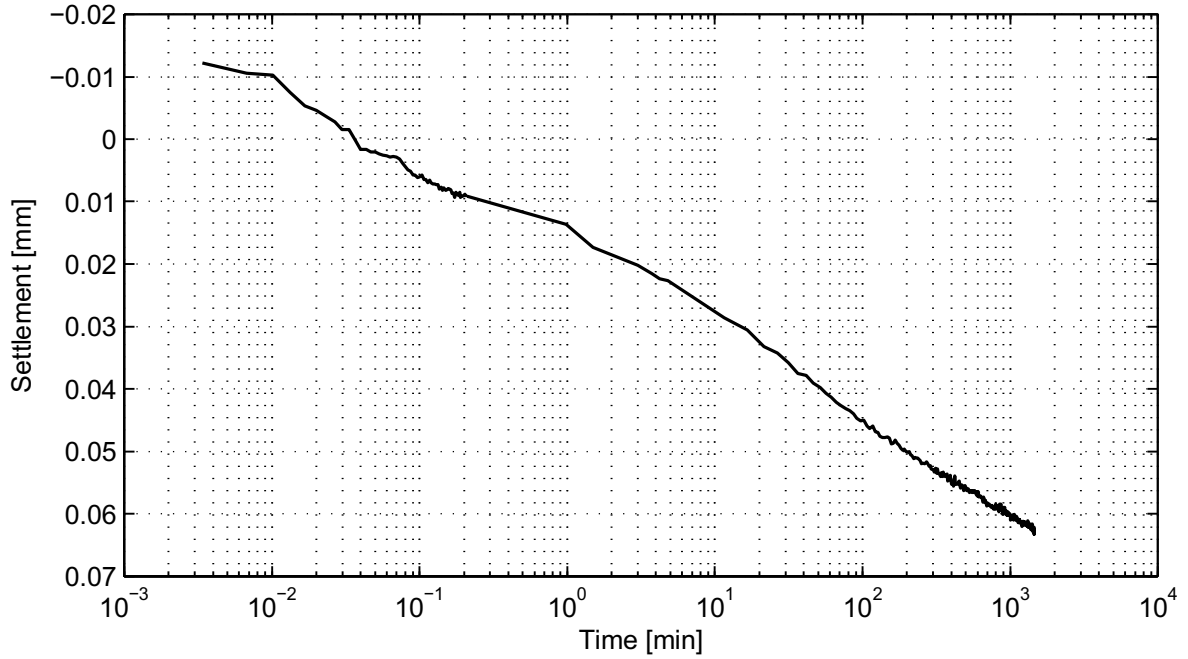
seen  
 -

appendix  
 SA48A

page  
 7

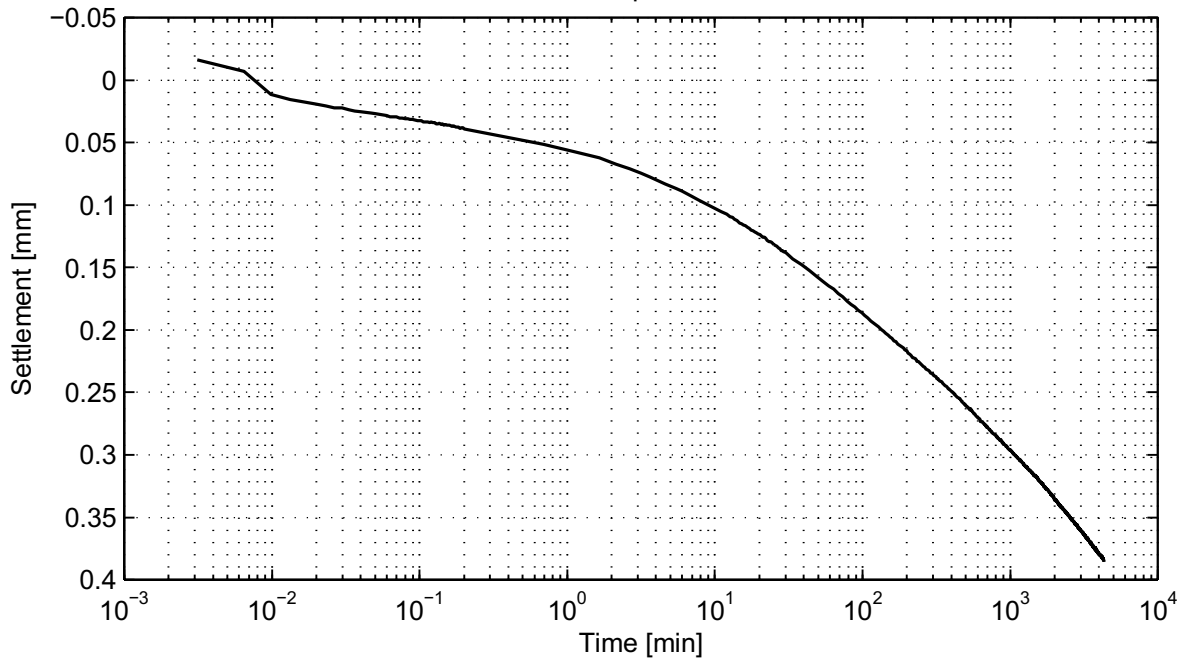
## Casagrande method (page 4/4)

Load step 160 kPa



No calculation performed.

Load step 320 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-15

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 48A, depth 0.39 m till 0.35 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

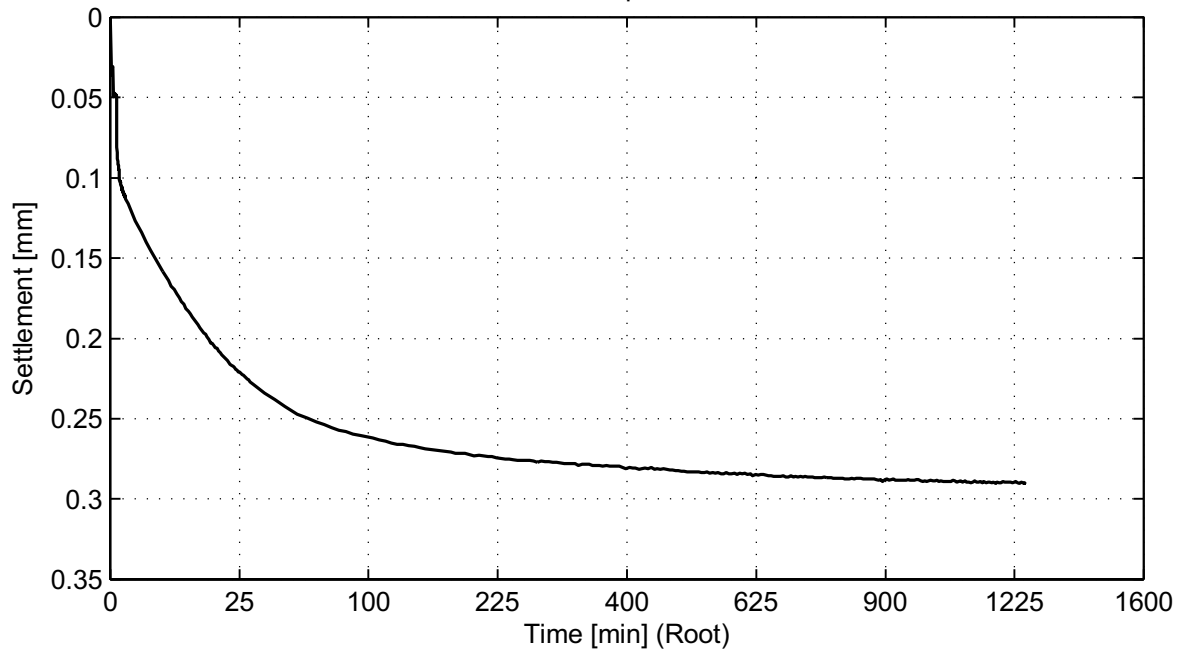
project  
1203768.18  
appendix  
SA48A

seen  
-  
page  
8

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 10:35

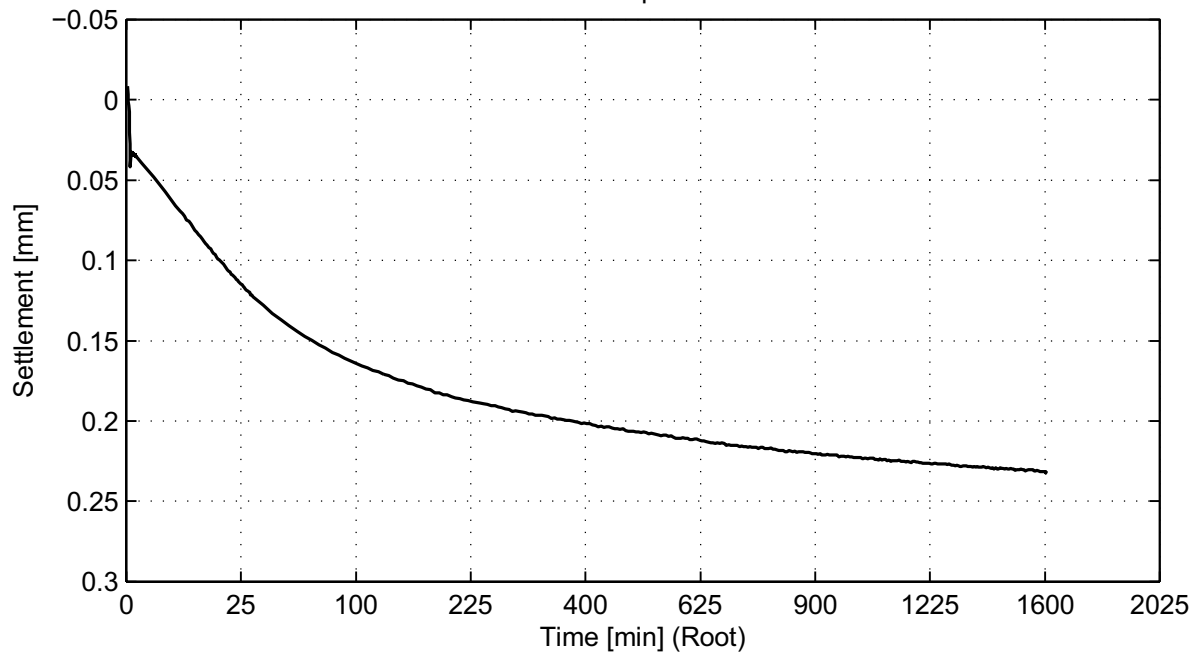
## Taylor method (page 1/4)

Load step 20 kPa



No calculation performed.

Load step 40 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-15

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 48A, depth 0.39 m till 0.35 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

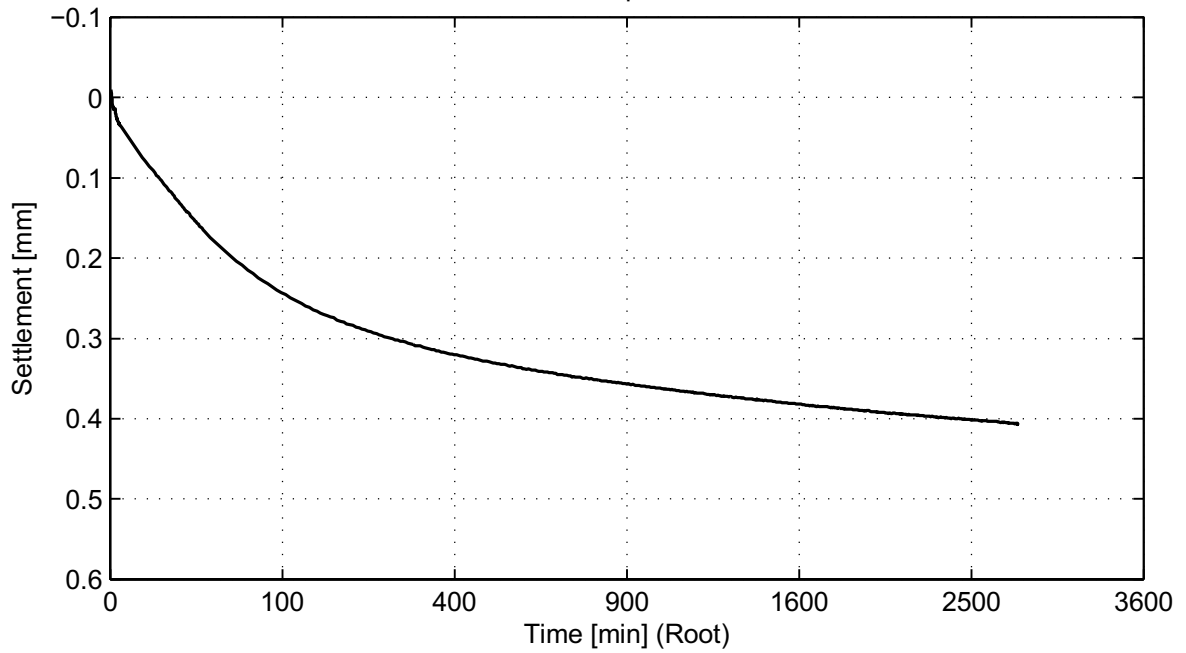
seen  
-

appendix  
SA48A

page  
9

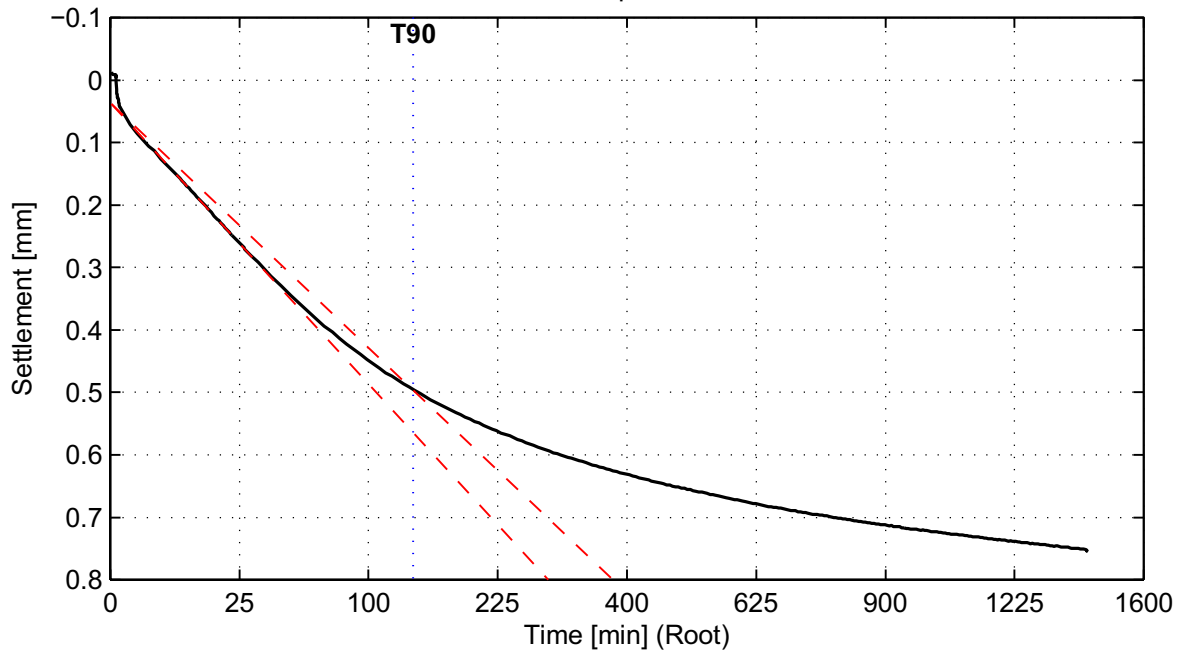
## Taylor method (page 2/4)

Load step 79 kPa



No calculation performed.

Load step 160 kPa



$C_v = 6.8e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-15

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 48A, depth 0.39 m till 0.35 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

seen  
-

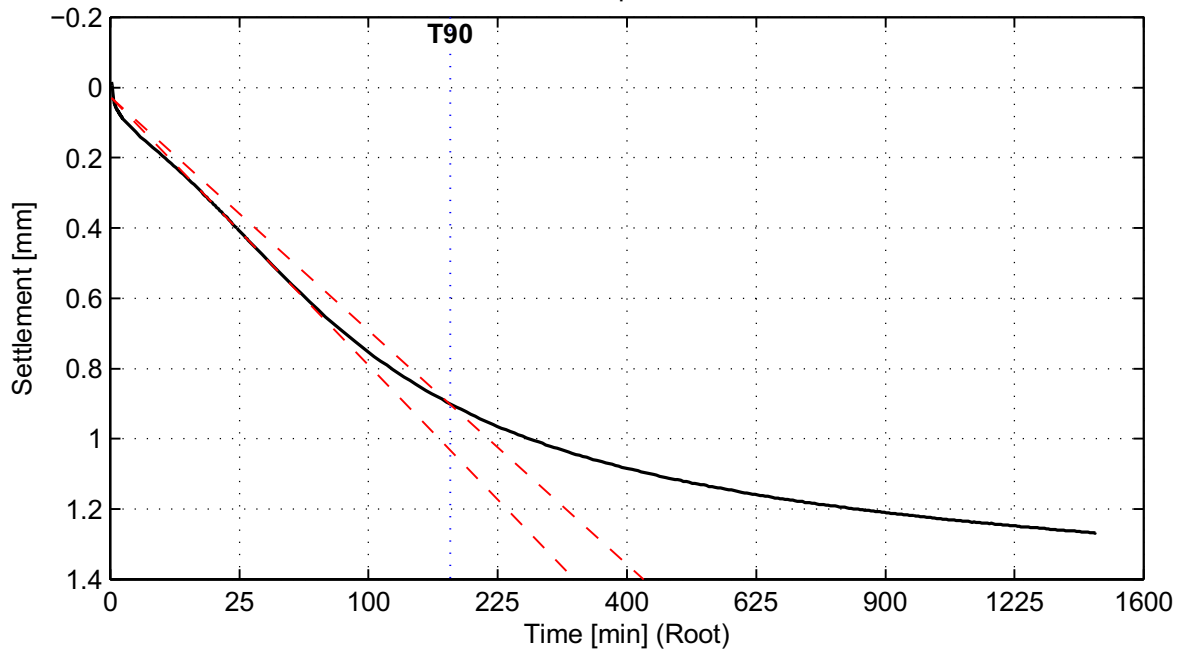
appendix  
SA48A

page  
10

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 10:35

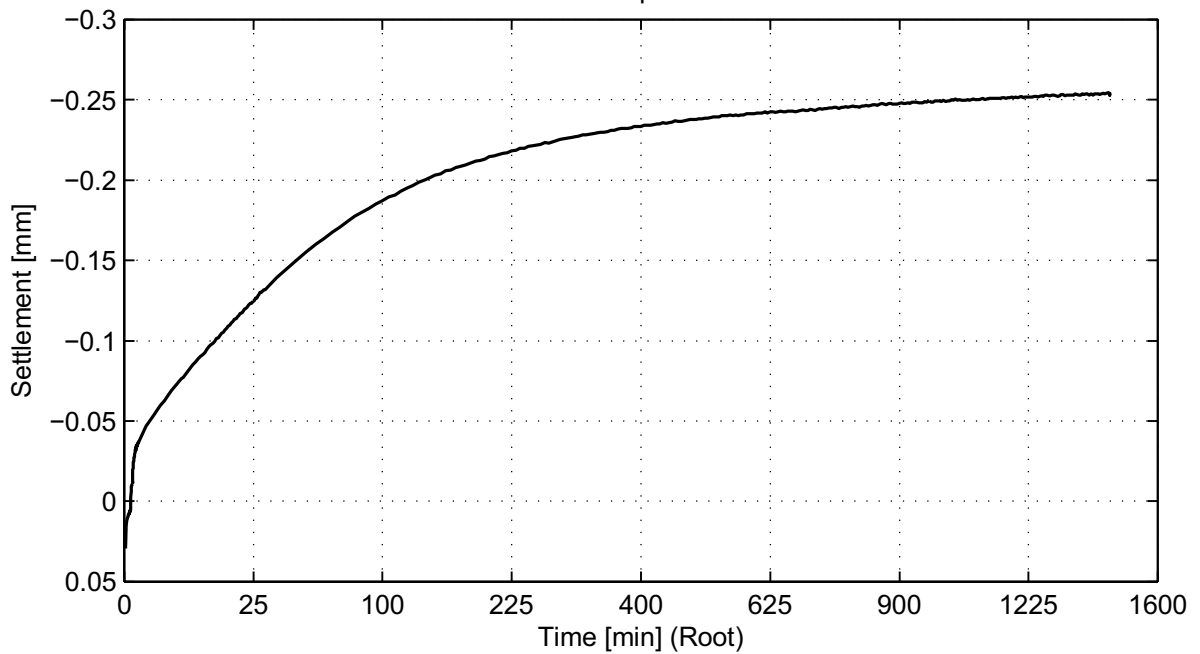
### Taylor method (page 3/4)

Load step 320 kPa



$C_v = 4.7e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 80 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-15

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 48A, depth 0.39 m till 0.35 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

seen  
-

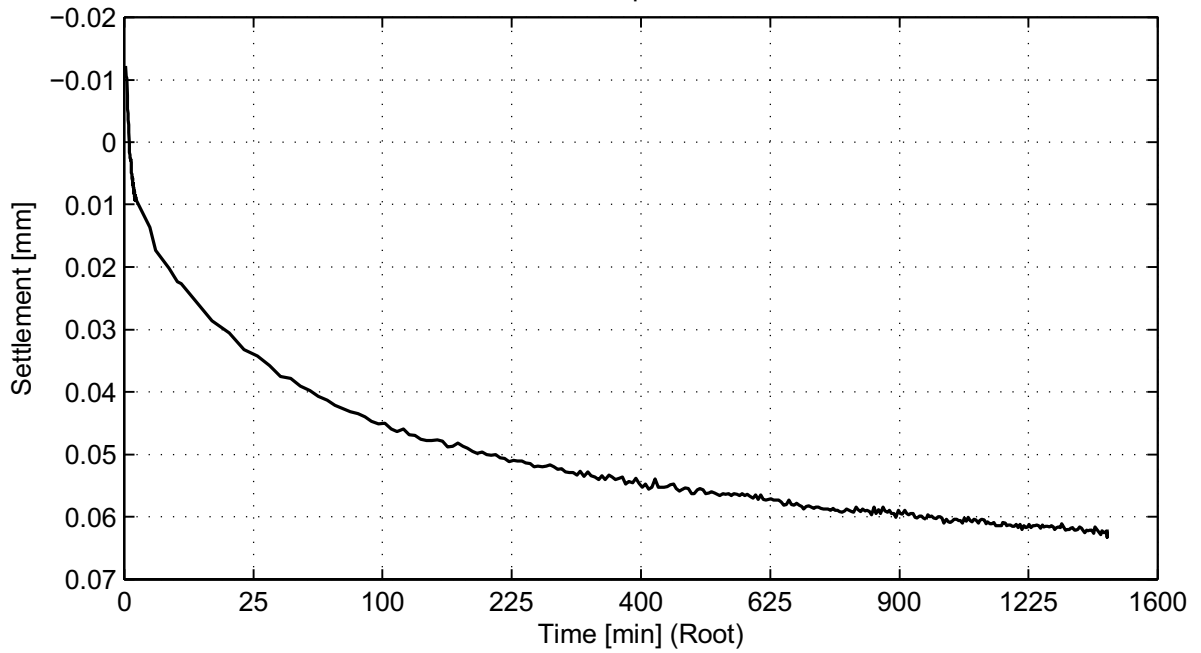
appendix  
SA48A

page  
11

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 10:35

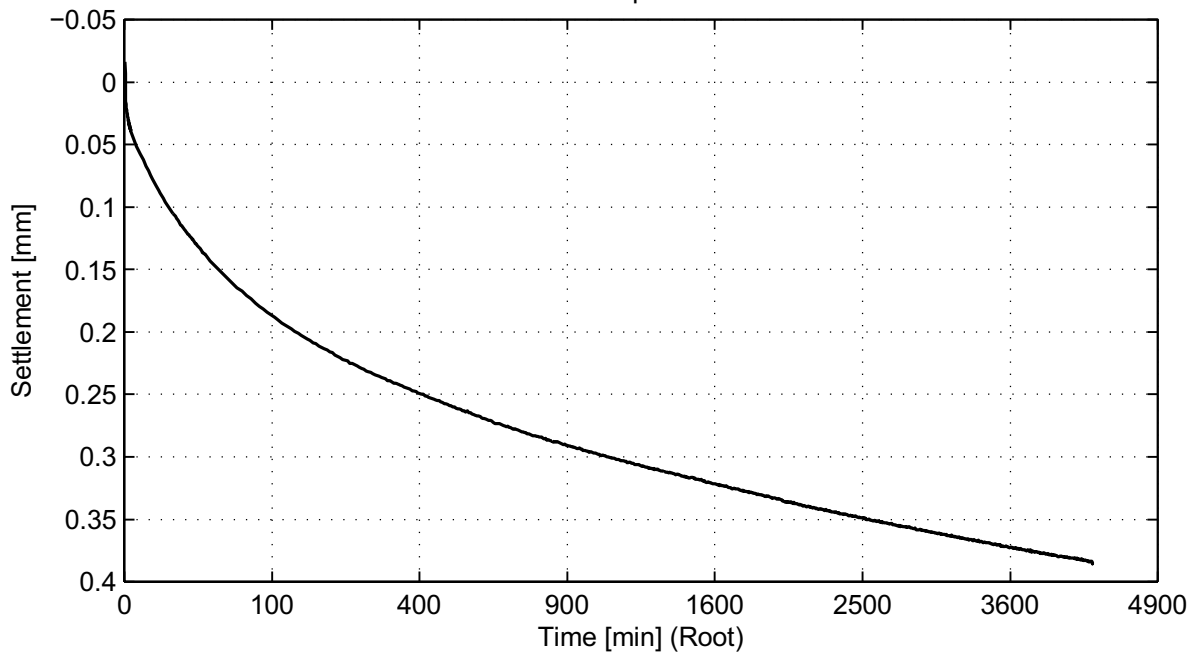
## Taylor method (page 4/4)

Load step 160 kPa



No calculation performed.

Load step 320 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-15

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 48A, depth 0.39 m till 0.35 m NAP

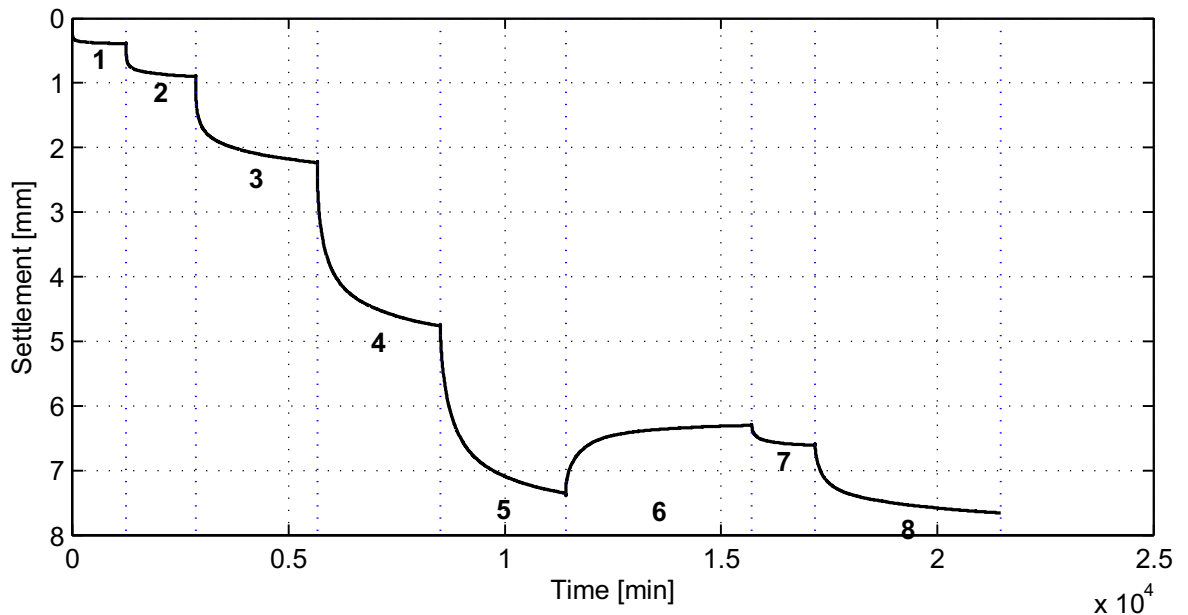
project  
1203768.18

seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA48A

page  
12



### General soil and test parameters

Soil description (NEN 5104)	Vk1
Initial volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	11.4
Initial volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	3.6
Volumetric weight particles [kN/m <sup>3</sup> ]	23.3
Initial water content [%]	213.8
Initial sample height [mm]	20
Initial sample diameter [mm]	63
Initial saturation [-]	0.9
Final volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	12.8
Final volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	5.6
Final water content [%]	130.7
Final saturation [-]	1.0
Type of test (wet/dry)	Wet
Visual disturbance sample	undisturbed
Startdate	2012-04-12
Enddate	2012-04-27
Sample disturbance index	5.7, moderate
Lab temperature [° C]	20.5
Pc <sub>Becker</sub> [kPa]	85.4
Pc <sub>Janbu</sub> [kPa]	-

Load step number	Load [kPa]
1	30
2	59
3	119
4	239
5	478
6	119
7	239
8	478

References:  
 Isotachenparameters: CUR recommendation 101  
 Pc Becker: Becker et al. (1987)  
 Pc Janbu: Janbu (1969)  
 Sample disturbance index: Lunne et al (2006)

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 53A, depth -4.61 m till -4.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

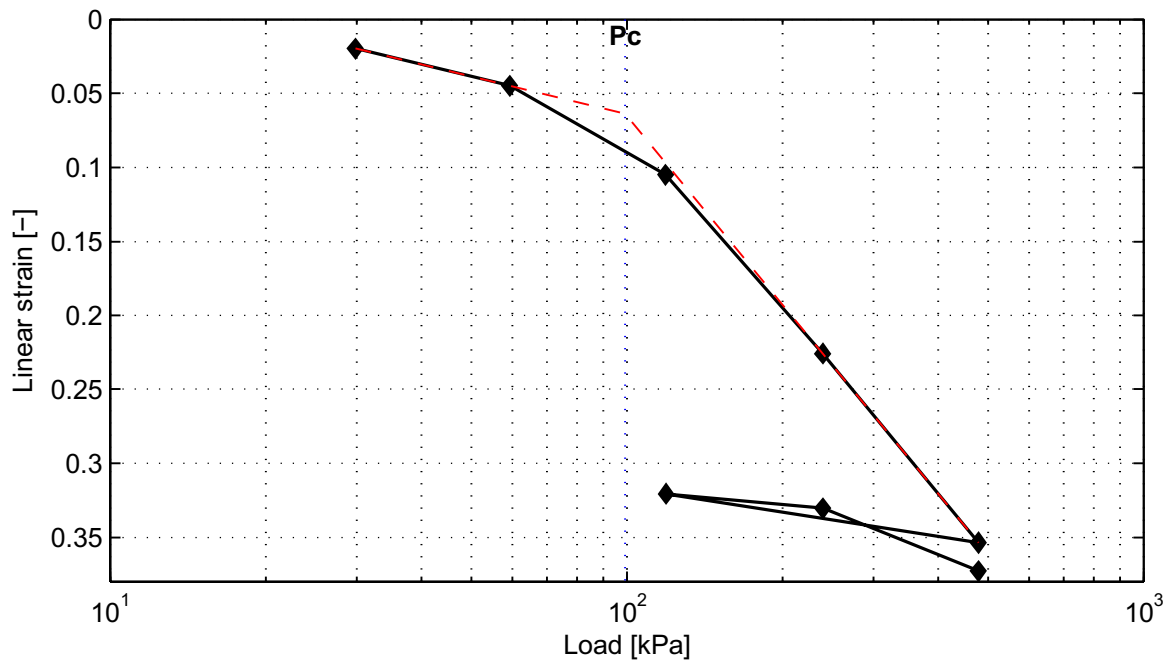
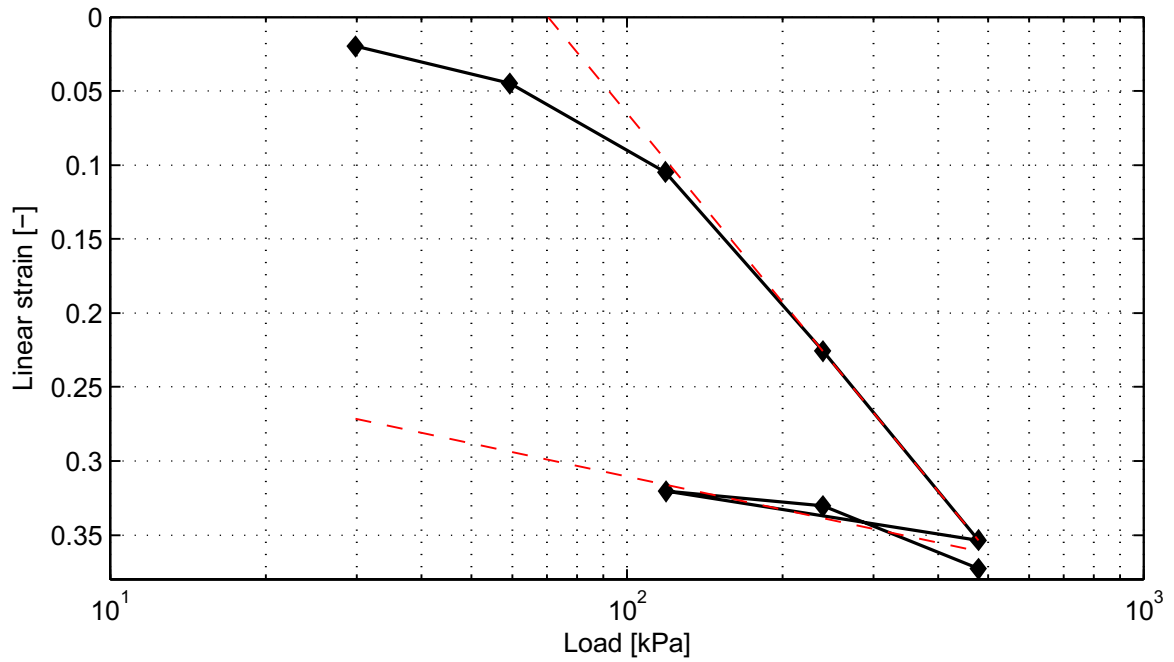
project  
 1203768.18

seen  
 -

appendix  
 SA53A

page  
 1

### NEN-Bjerrum method



**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 53A, depth -4.61 m till -4.65 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

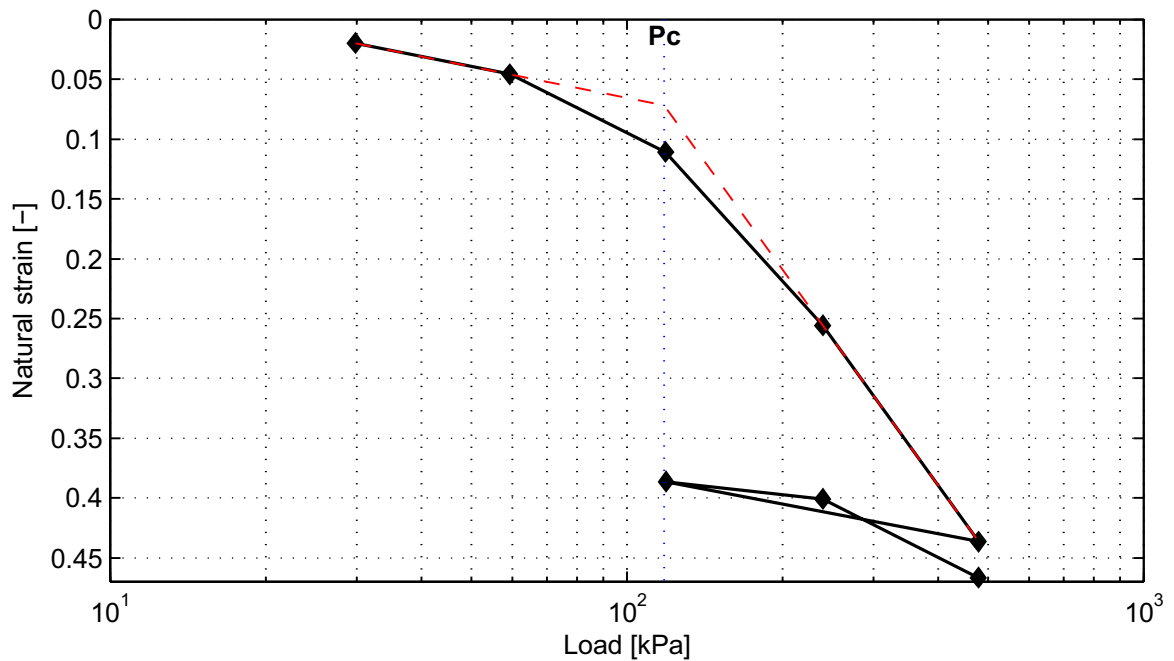
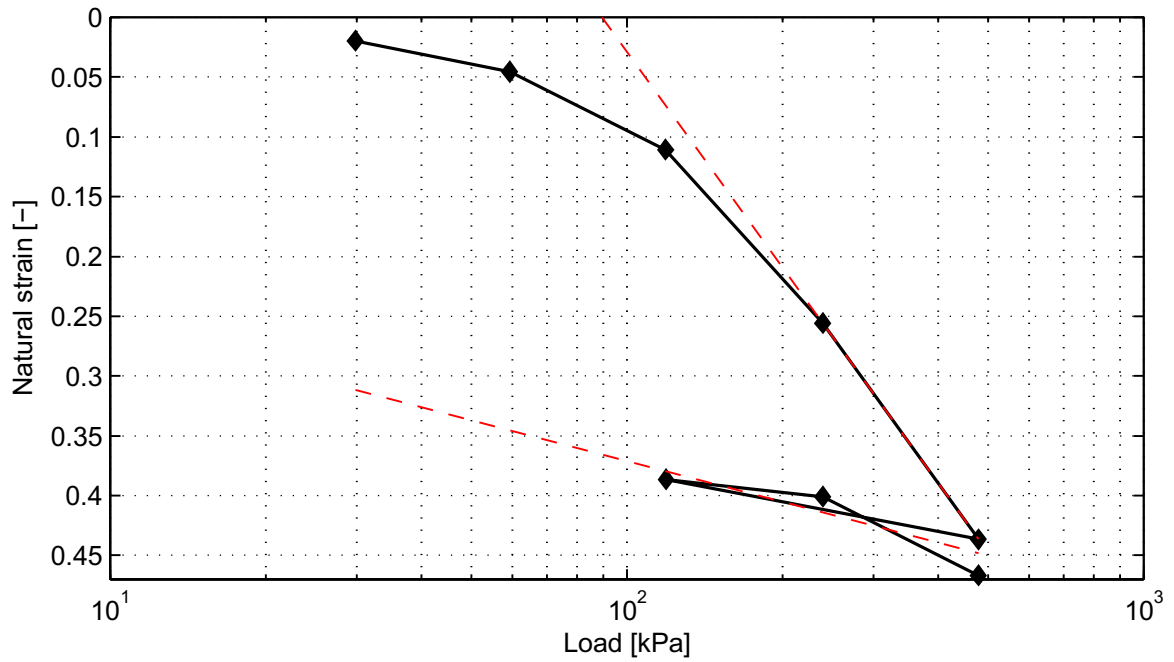
project  
1203768.18  
appendix  
SA53A

seen  
-  
page  
2

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:41



### Isotachen method



**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 53A, depth -4.61 m till -4.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

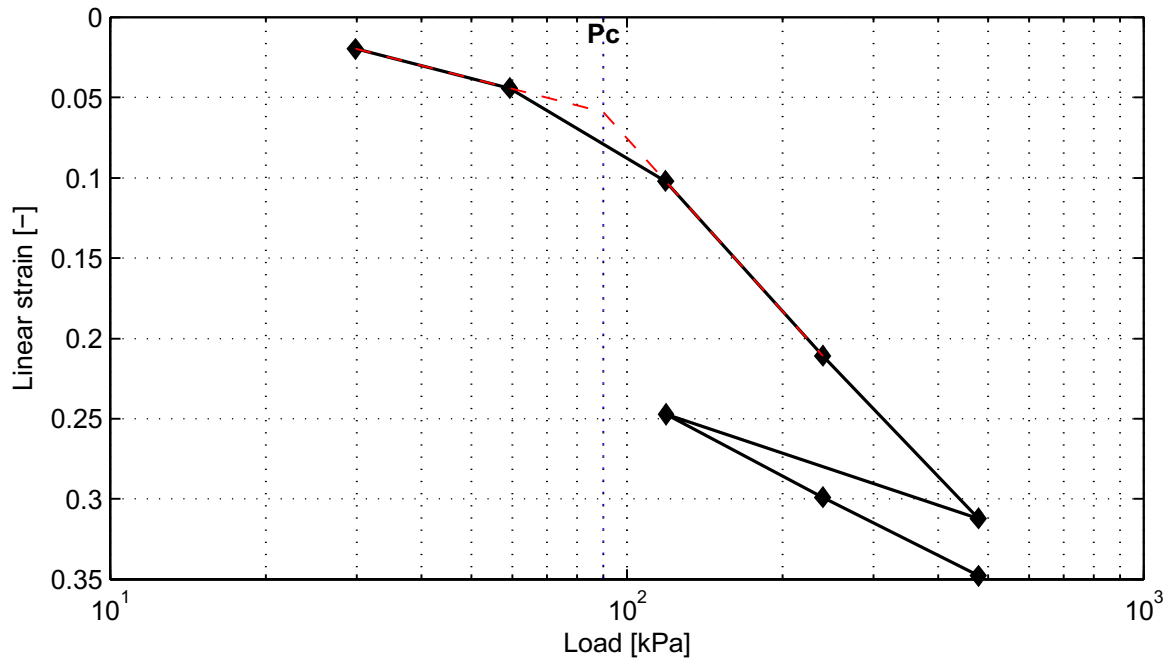
project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
SA53A

page  
3

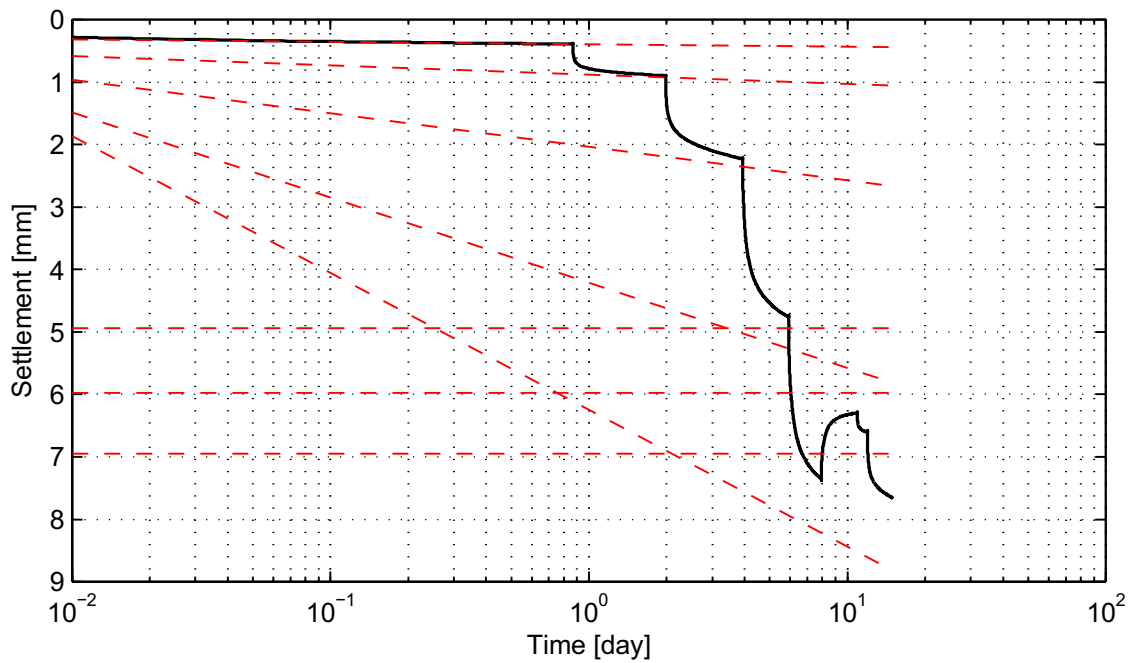
## Koppejan method



$C_p = 2.8e+001$   
 $C_{p'} = 6.4e+000$

$C_s = 1.3e+002$   
 $C_{s'} = 1.7e+001$

$C = 1.5e+001$   
 $C' = 2.6e+000$   
 $P_{c'} = 90.0 \text{ kPa}$



$C_p = 2.8e+001$   
 $C_{p'} = 6.4e+000$

$C_s = 1.3e+002$   
 $C_{s'} = 1.7e+001$

$C = 1.5e+001$   
 $C' = 2.6e+000$   
 $P_{c'} = 90.0 \text{ kPa}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 53A, depth -4.61 m till -4.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

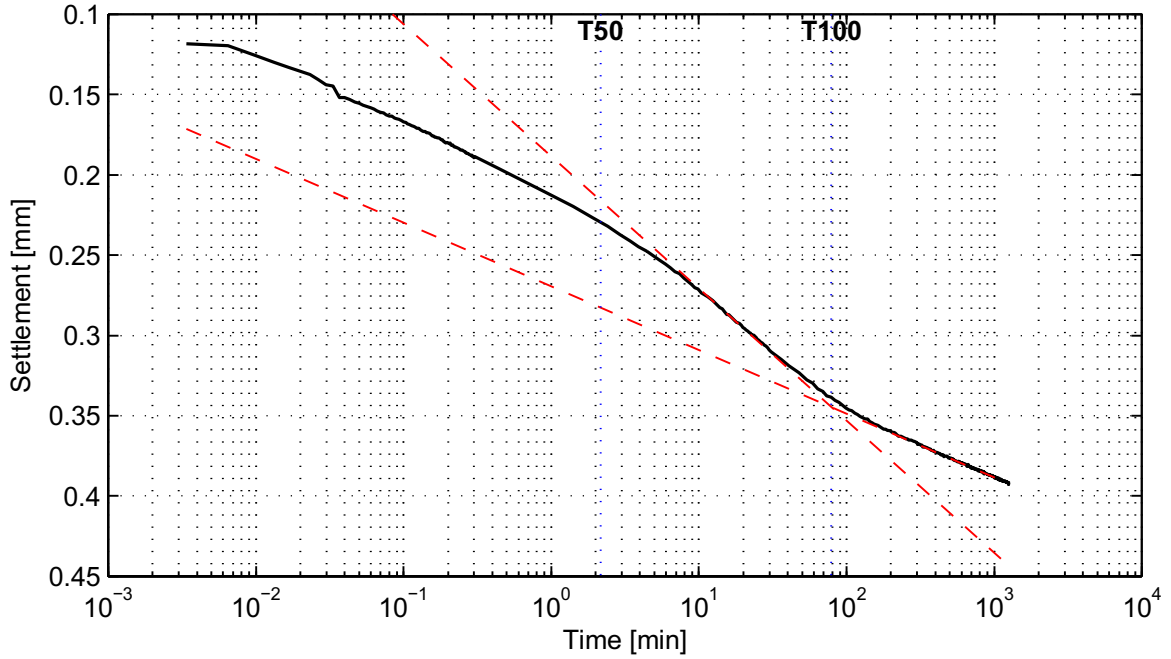
seen  
-

appendix  
SA53A

page  
4

## Casagrande method (page 1/4)

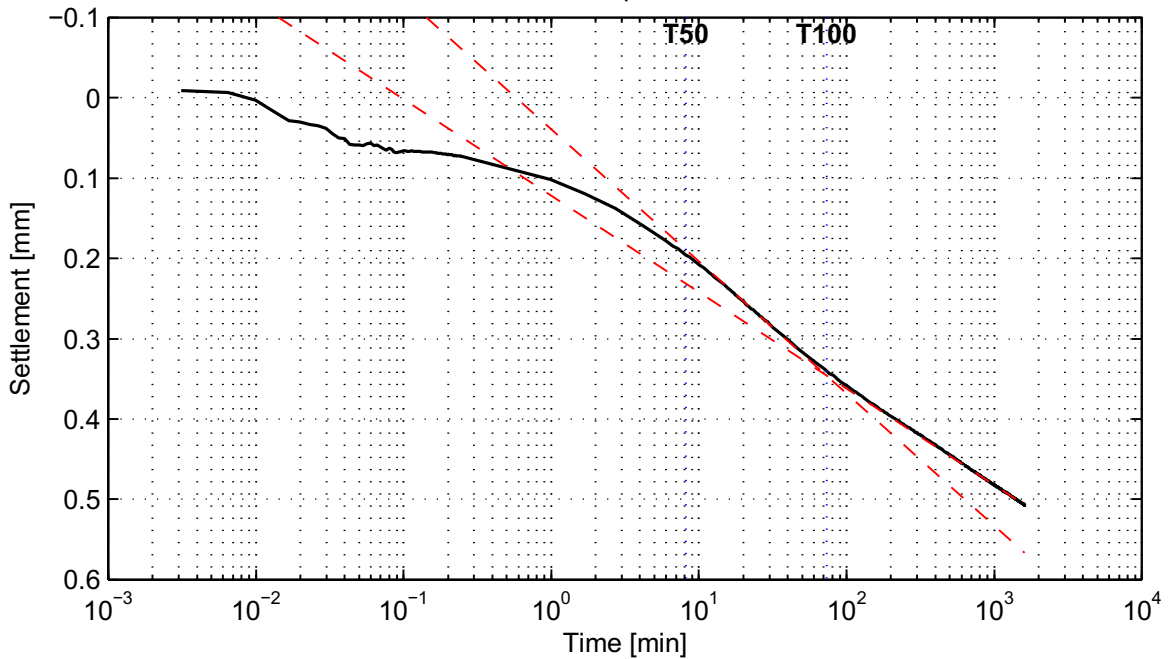
Load step 30 kPa



$C_v = 1.1e-007 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 3.9e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 4.3e-010 \text{ m/s}$

Load step 59 kPa



$C_v = 2.9e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 5.2e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.5e-010 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 53A, depth -4.61 m till -4.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

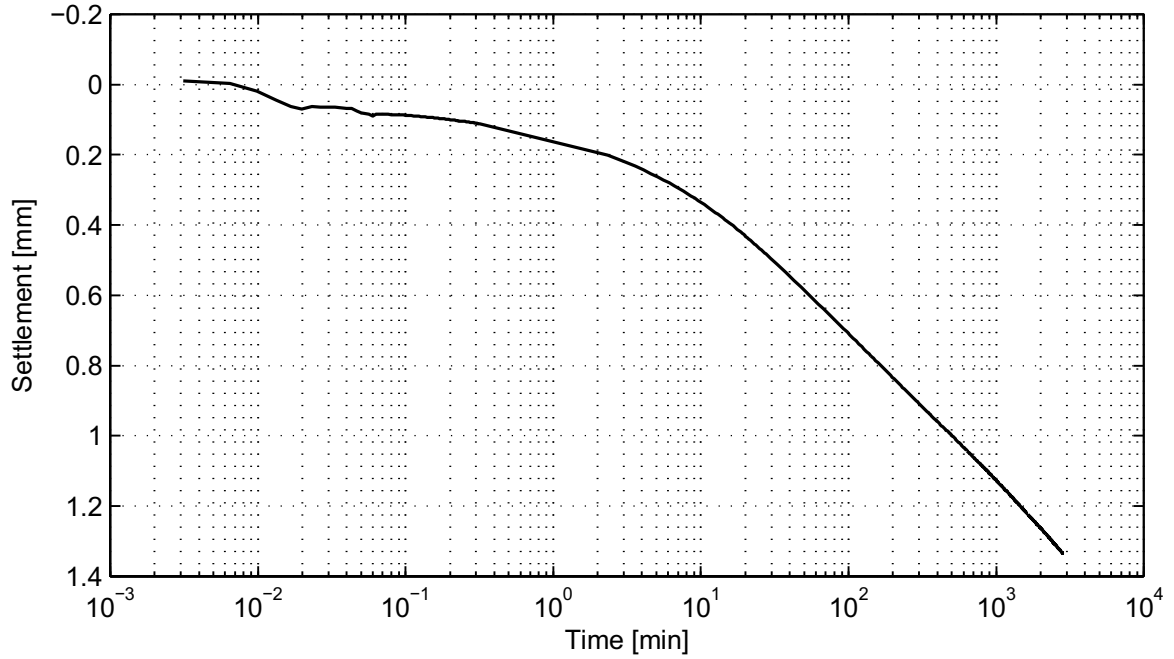
seen  
 -

appendix  
 SA53A

page  
 5

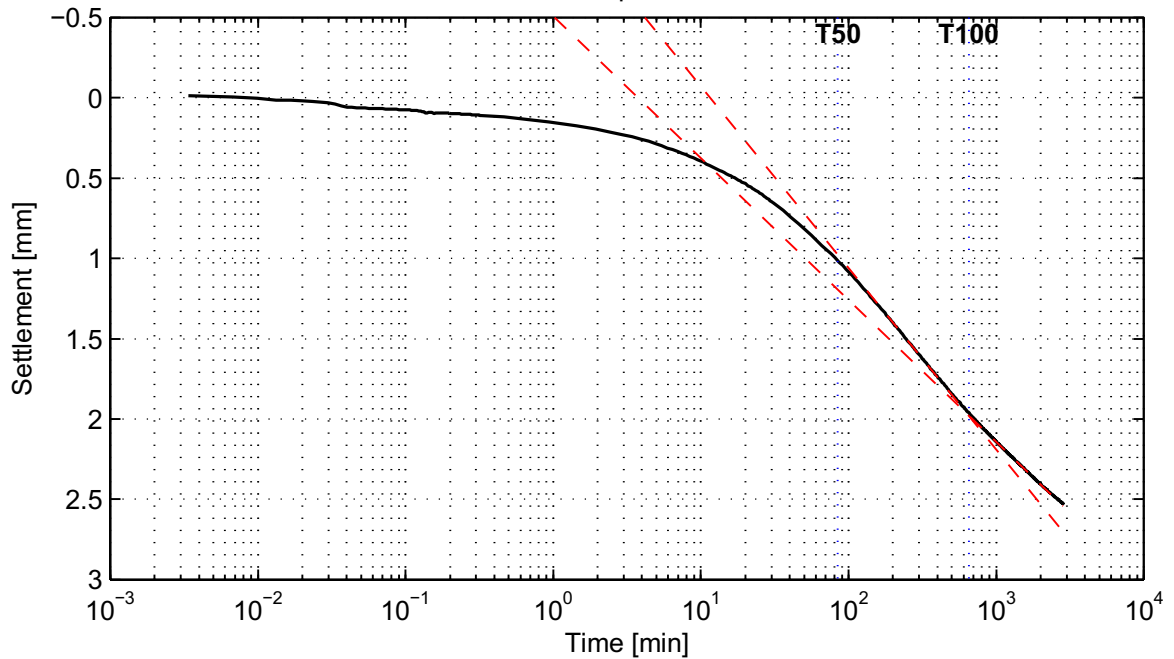
## Casagrande method (page 2/4)

Load step 119 kPa



No calculation performed.

Load step 239 kPa



$C_v = 2.1e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 5.0e-002$

$M_v = 9.0e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.8e-011 \text{ m/s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 53A, depth -4.61 m till -4.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

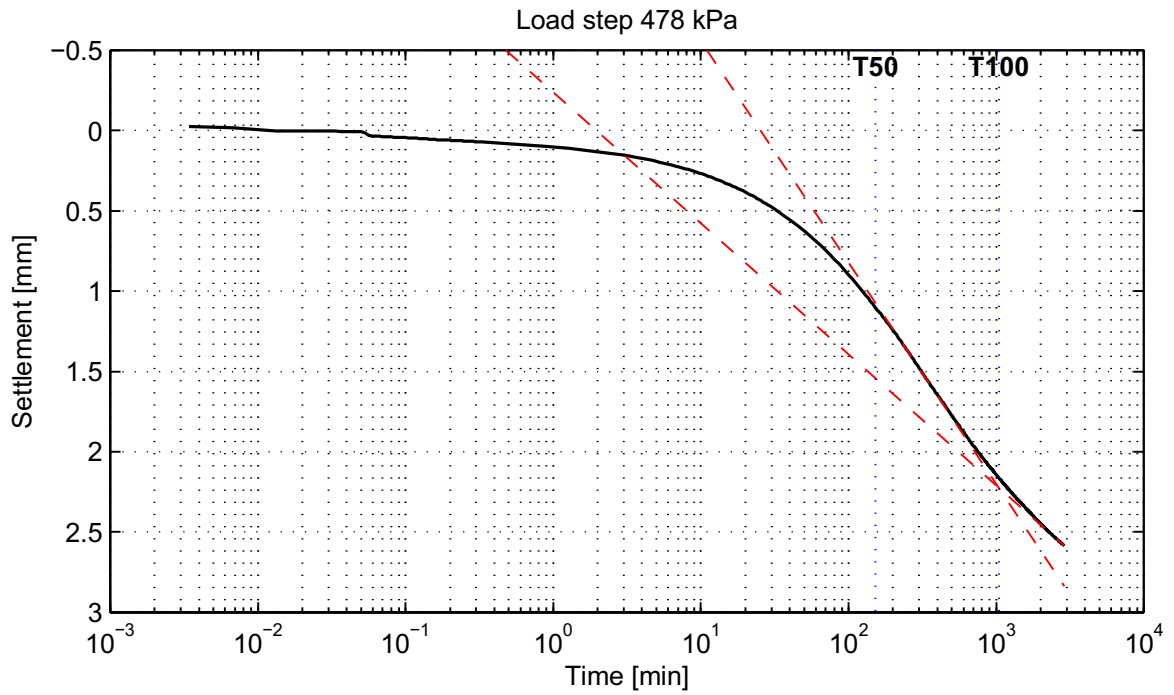
project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
SA53A

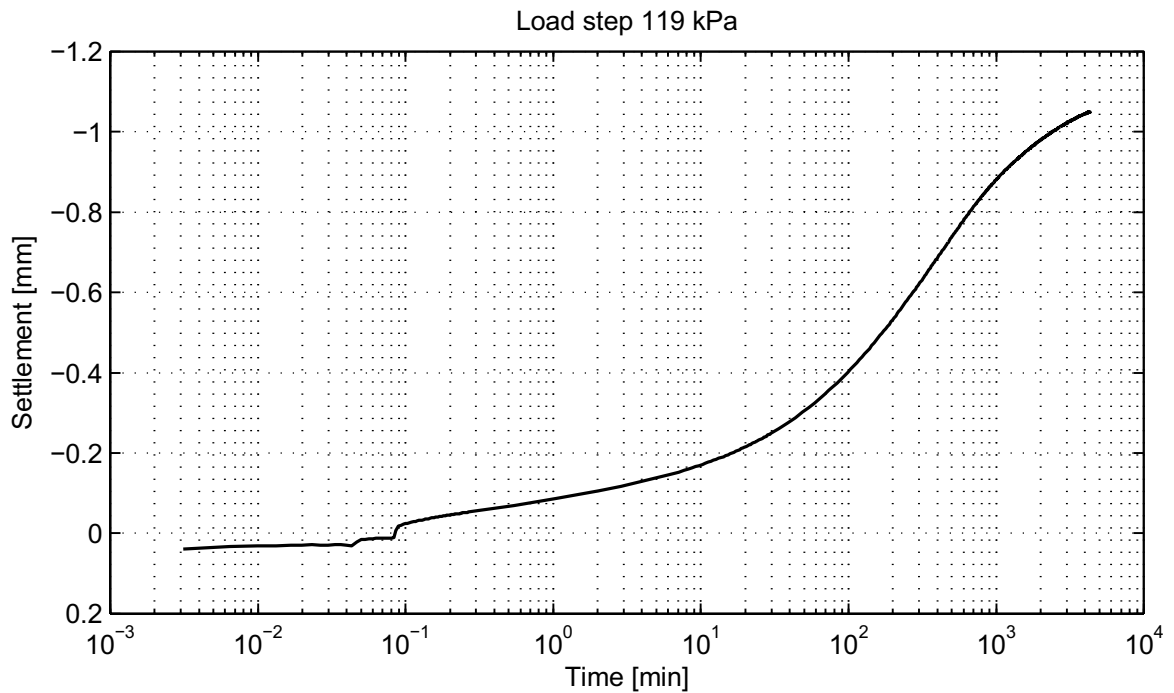
page  
6

### Casagrande method (page 3/4)



$C_v = 8.3e-010 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 5.4e-002$

$M_v = 6.2e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 5.0e-012 \text{ m/s}$



No calculation performed.

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 53A, depth -4.61 m till -4.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

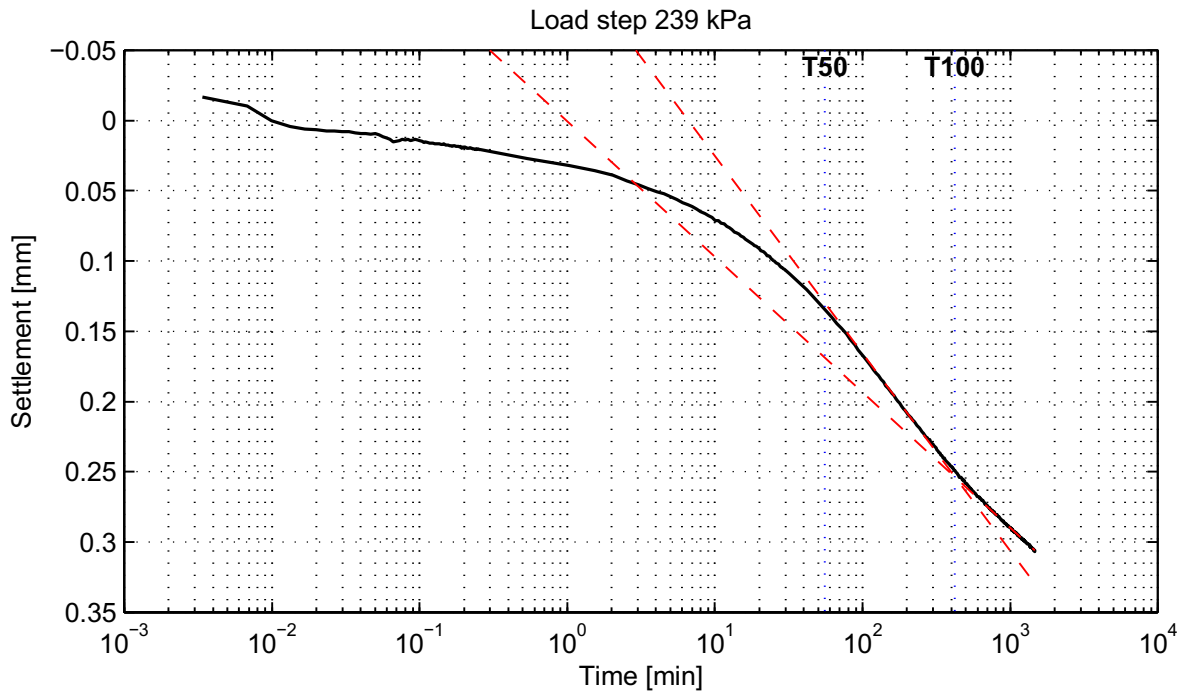
project  
 1203768.18

seen  
 -

appendix  
 SA53A

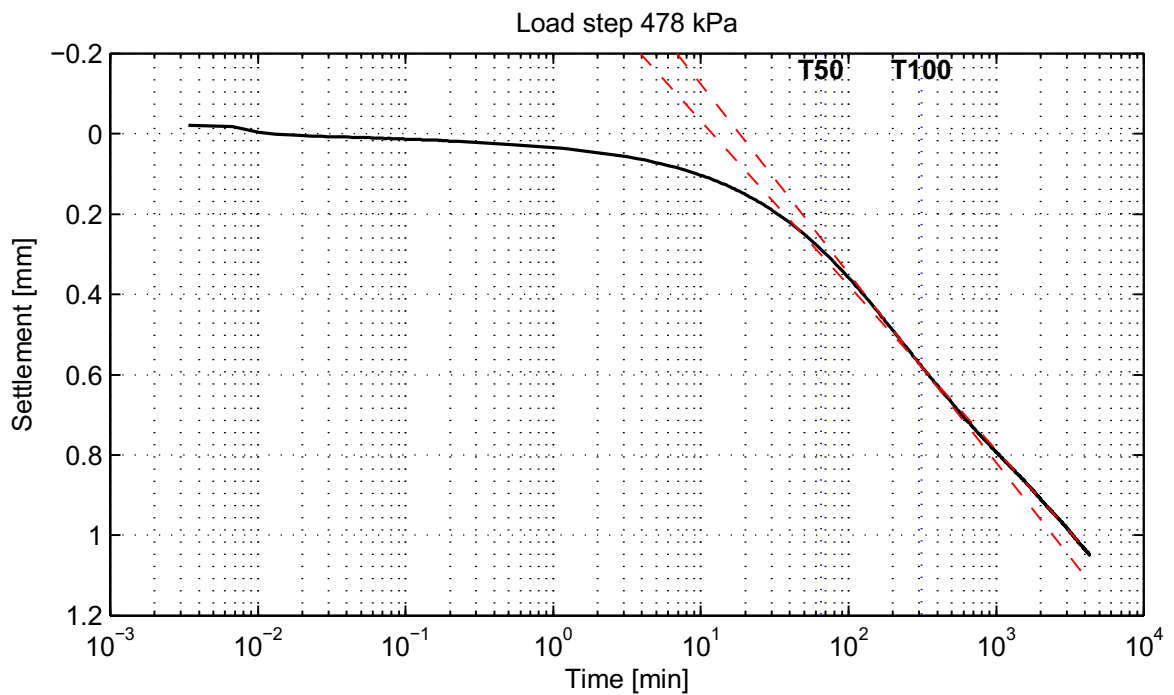
page  
 7

## Casagrande method (page 4/4)



$C_v = 2.1e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 1.4e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 3.0e-012 \text{ m/s}$



$C_v = 1.7e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 1.8e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 3.0e-012 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 53A, depth -4.61 m till -4.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

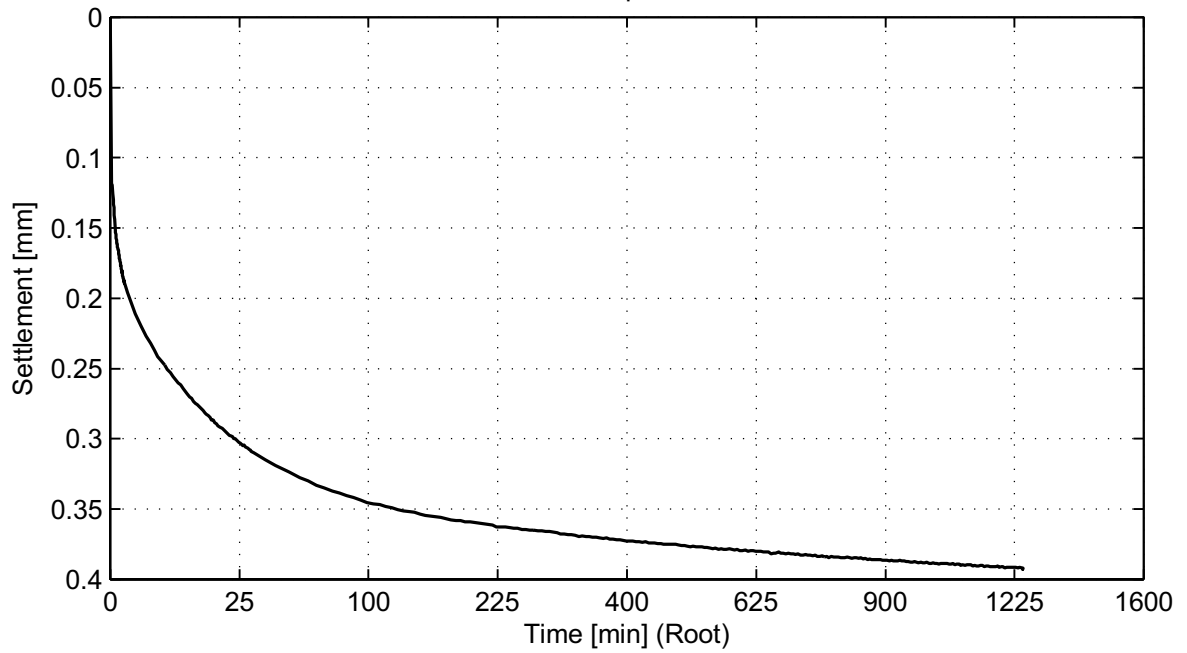
seen  
 -

appendix  
 SA53A

page  
 8

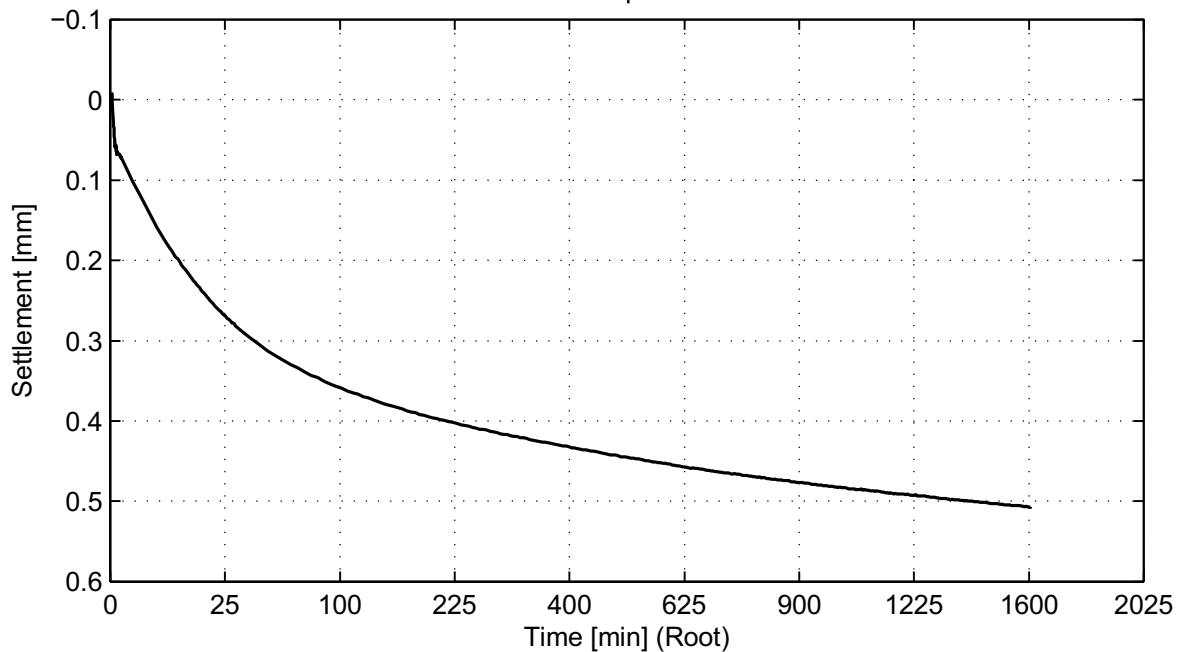
## Taylor method (page 1/4)

Load step 30 kPa



No calculation performed.

Load step 59 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-07

signed  
ess

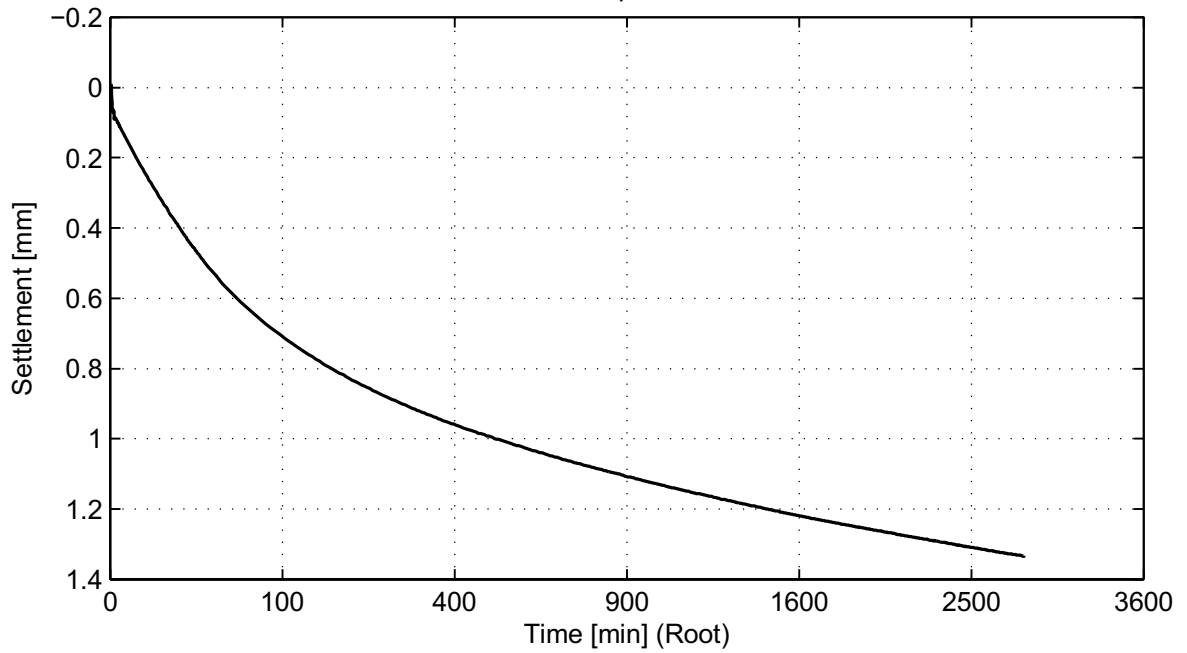
Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 53A, depth -4.61 m till -4.65 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18  
appendix  
SA53A

seen  
-  
page  
9

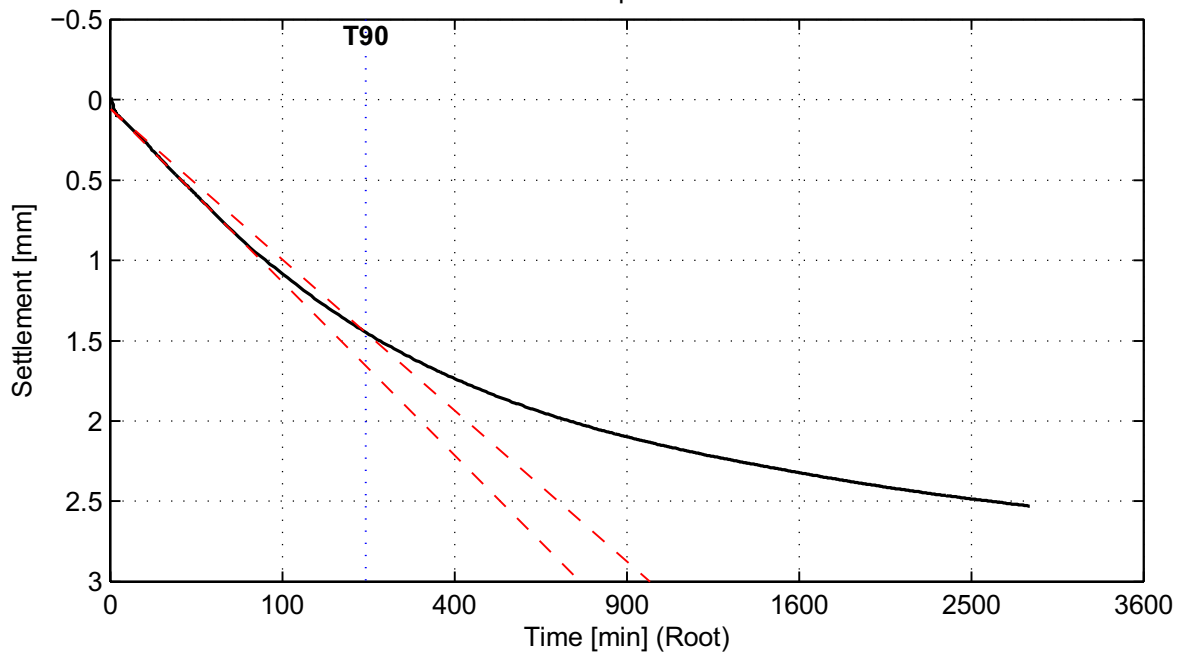
## Taylor method (page 2/4)

Load step 119 kPa



No calculation performed.

Load step 239 kPa



$C_v = 3.3e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 53A, depth -4.61 m till -4.65 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

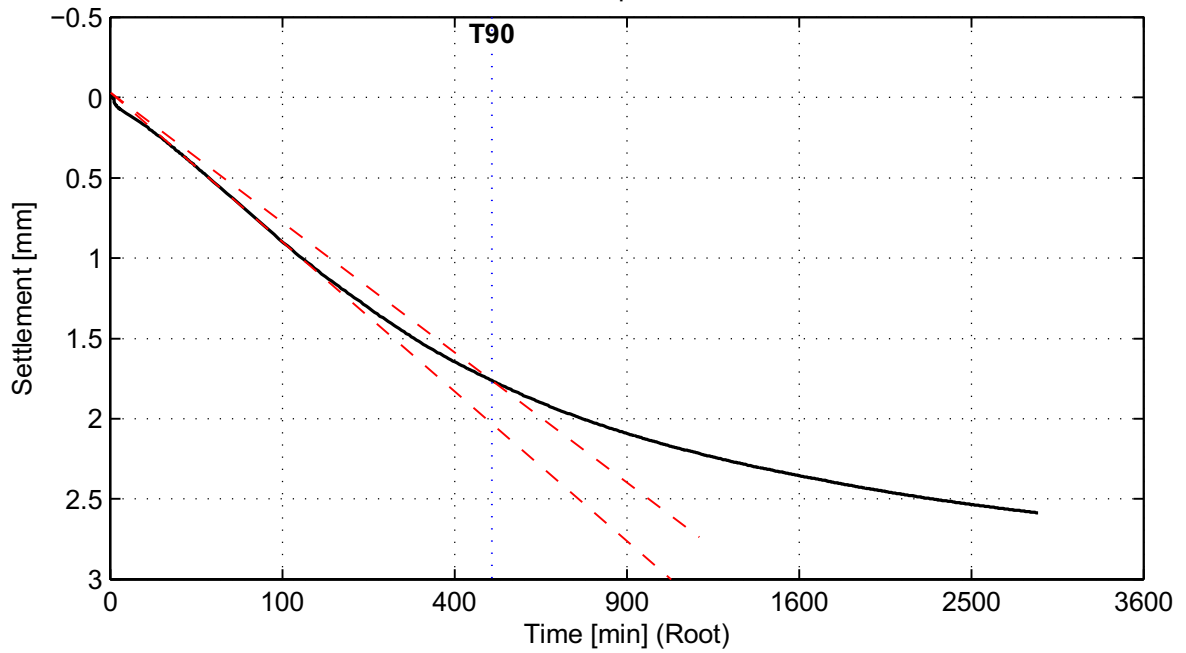
project  
1203768.18  
appendix  
SA53A

seen  
-  
page  
10



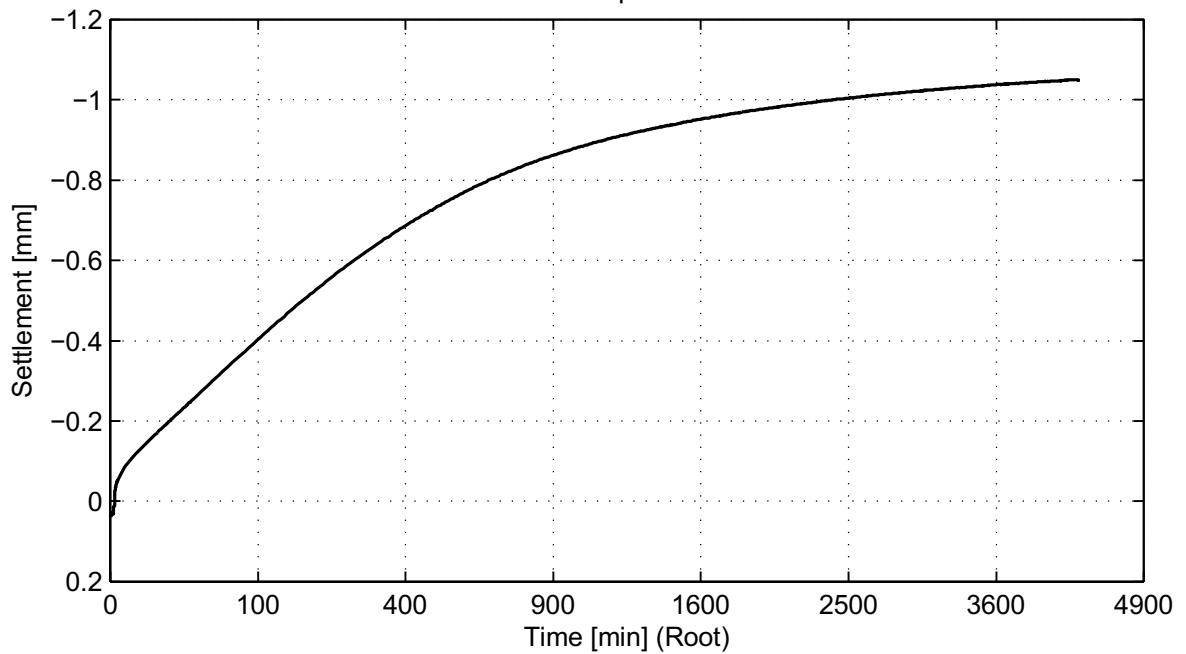
### Taylor method (page 3/4)

Load step 478 kPa



$C_v = 1.0e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 119 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 53A, depth -4.61 m till -4.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

seen  
-

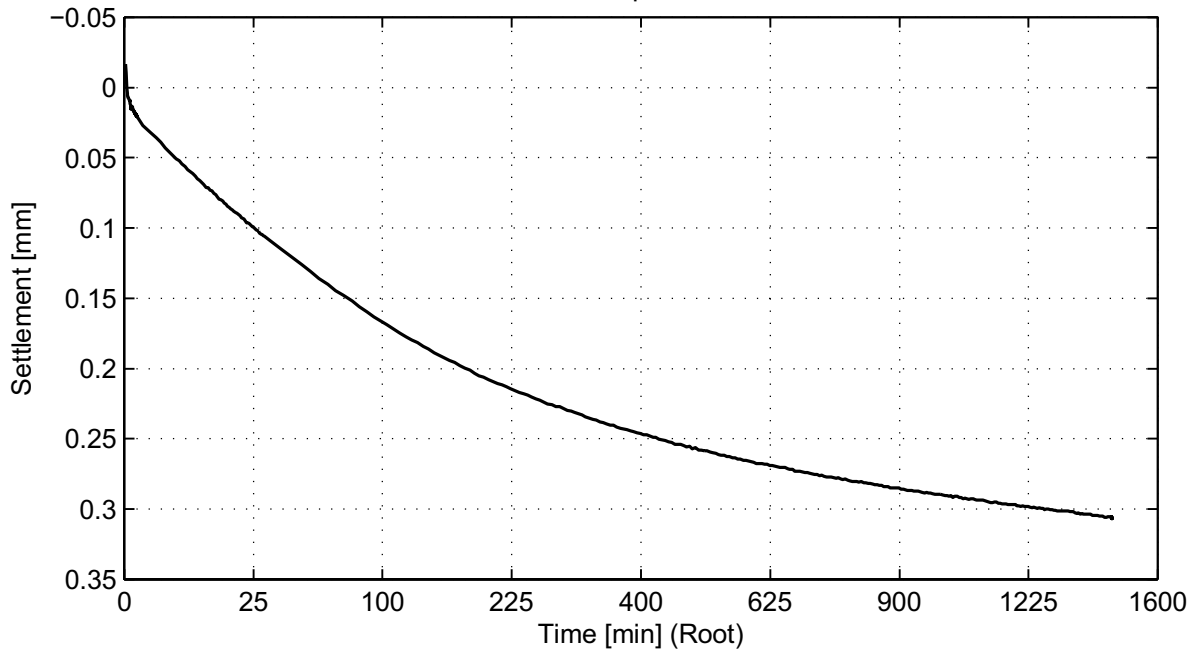
appendix  
SA53A

page  
11

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:41

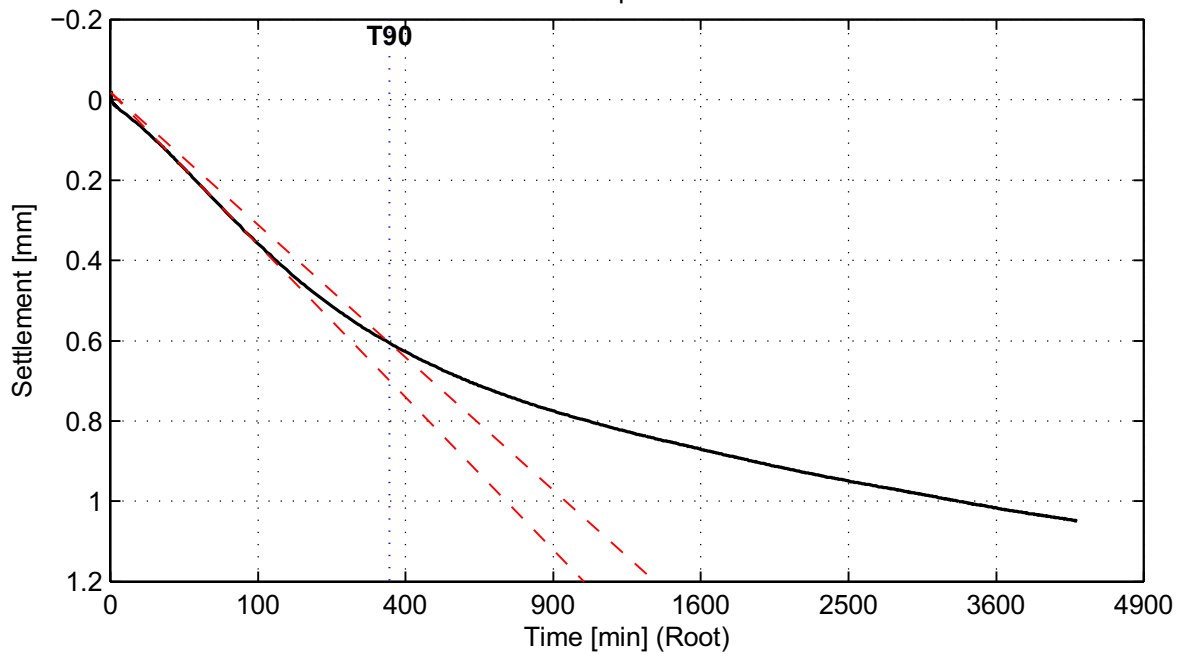
## Taylor method (page 4/4)

Load step 239 kPa



No calculation performed.

Load step 478 kPa



$C_v = 1.2e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

**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

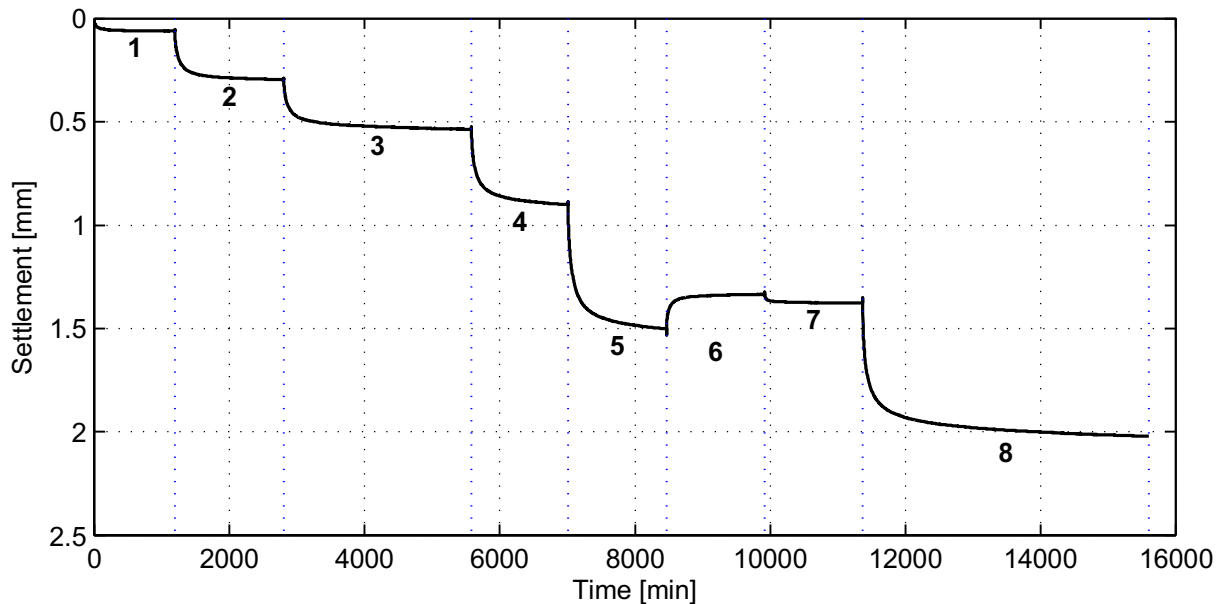
date  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 53A, depth -4.61 m till -4.65 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18  
appendix  
SA53A

seen  
-  
page  
12



### General soil and test parameters

Soil description (NEN 5104)	Ks2
Initial volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	17.1
Initial volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	11.7
Volumetric weight particles [kN/m <sup>3</sup> ]	24.8
Initial water content [%]	46.4
Initial sample height [mm]	20
Initial sample diameter [mm]	63
Initial saturation [-]	1.0
Final volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	18.1
Final volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	13.3
Final water content [%]	36.2
Final saturation [-]	1.1
Type of test (wet/dry)	Wet
Visual disturbance sample	undisturbed
Startdate	2012-04-12
Enddate	2012-04-23
Sample disturbance index	2.8, good
Lab temperature [° C]	20.4
Pc <sub>Becker</sub> [kPa]	68.0
Pc <sub>Janbu</sub> [kPa]	-

Load step number	Load [kPa]
1	10
2	30
3	60
4	119
5	240
6	60
7	119
8	359

References:  
 Isotachenparameters: CUR recommendation 101  
 Pc Becker: Becker et al. (1987)  
 Pc Janbu: Janbu (1969)  
 Sample disturbance index: Lunne et al (2006)

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 71A, depth 0.69 m till 0.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

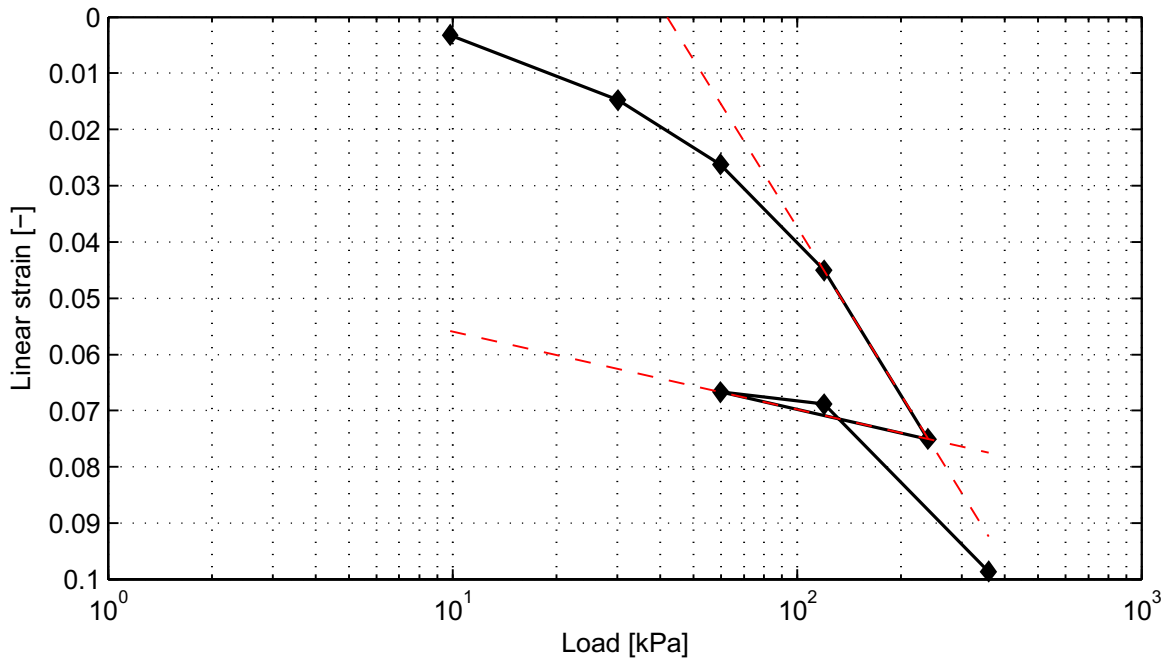
project  
 1203768.18

seen  
 -

appendix  
 SA71A

page  
 1

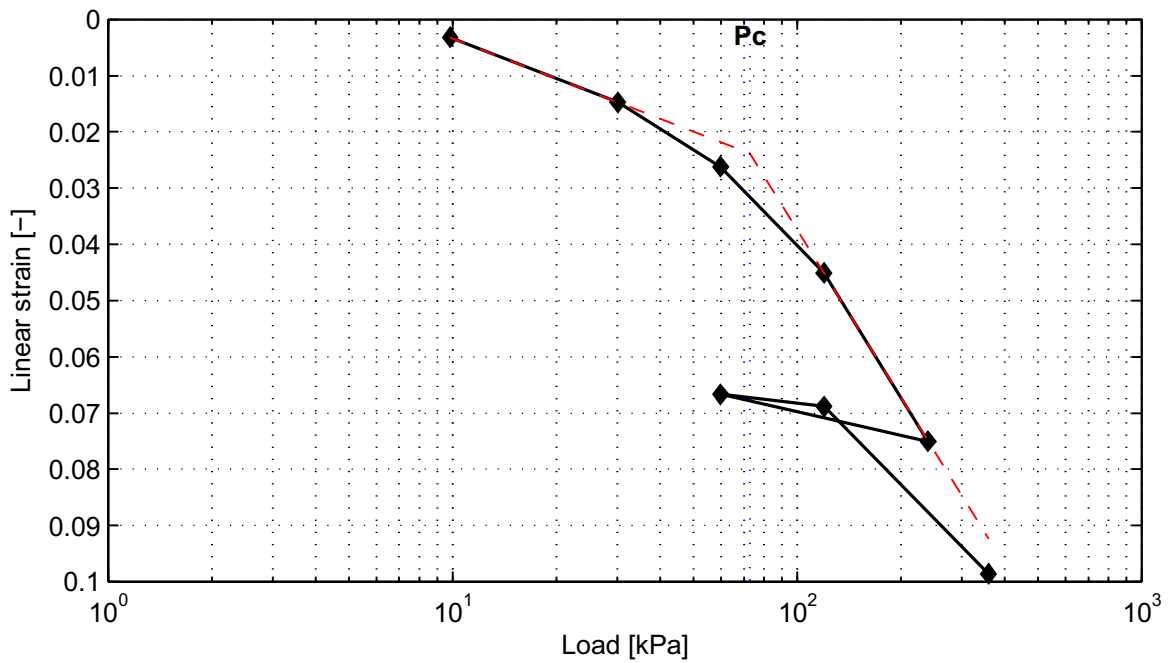
### NEN-Bjerrum method



RR = 1.4e-002  
CR = 9.9e-002

Ca = 4.5e-003

Vo = 2.12



Pc = 72.9 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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 71A, depth 0.69 m till 0.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

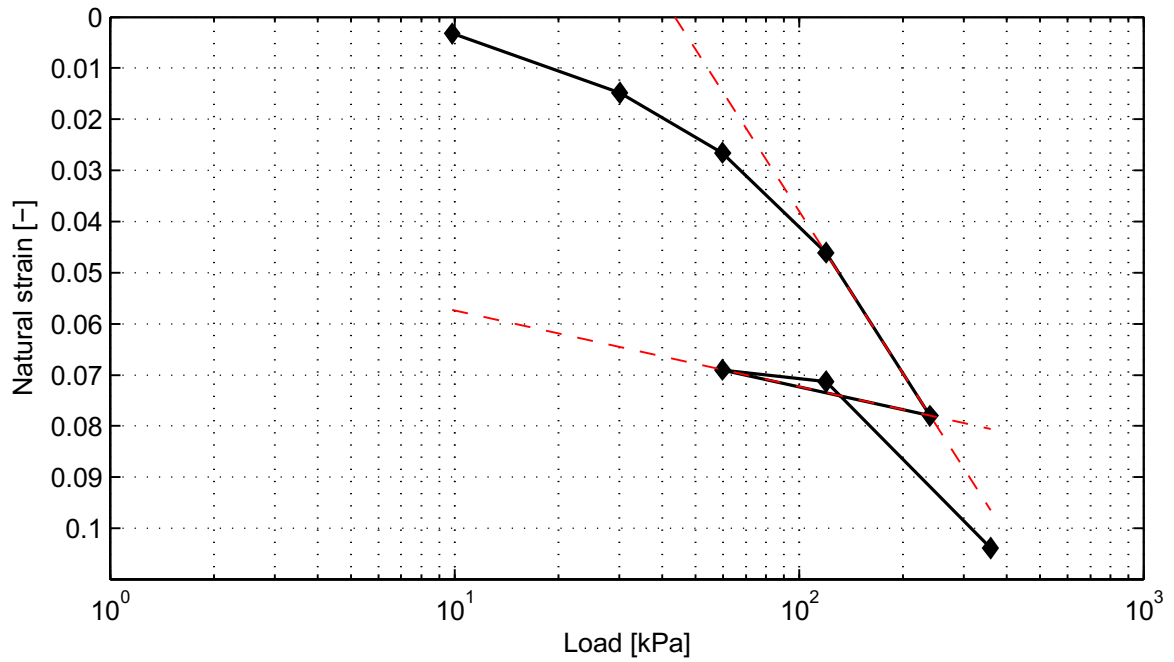
project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
SA71A

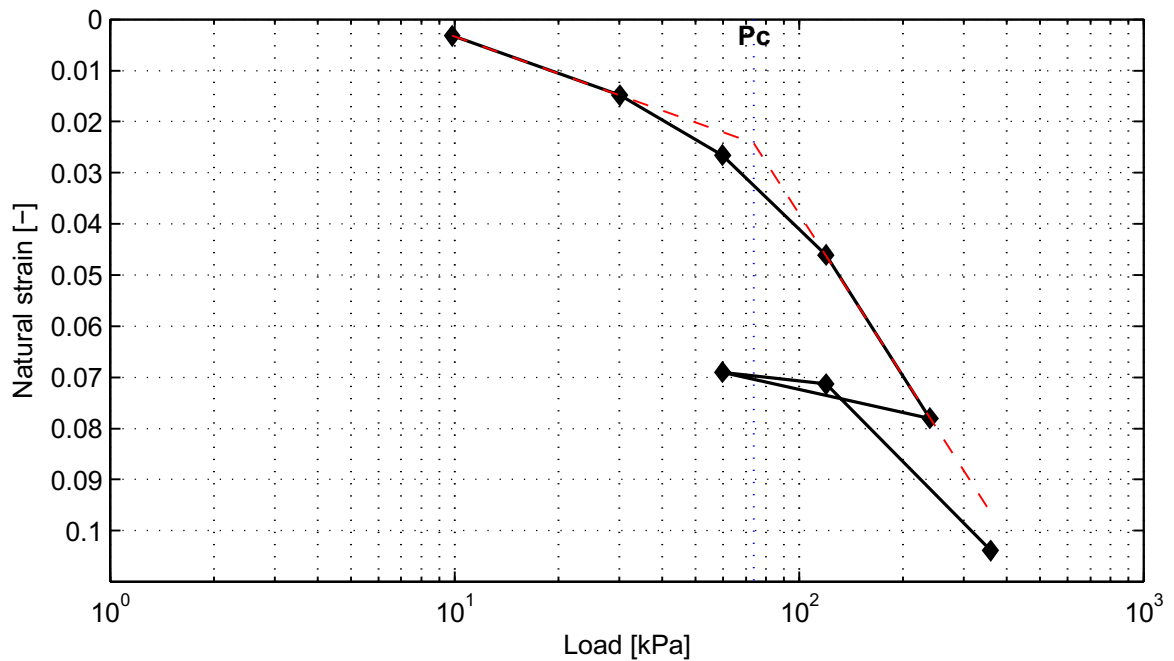
page  
2

### Isotachen method



A = 6.5e-003  
B = 4.6e-002

C = 2.0e-003



Pc = 73.9 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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 71A, depth 0.69 m till 0.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

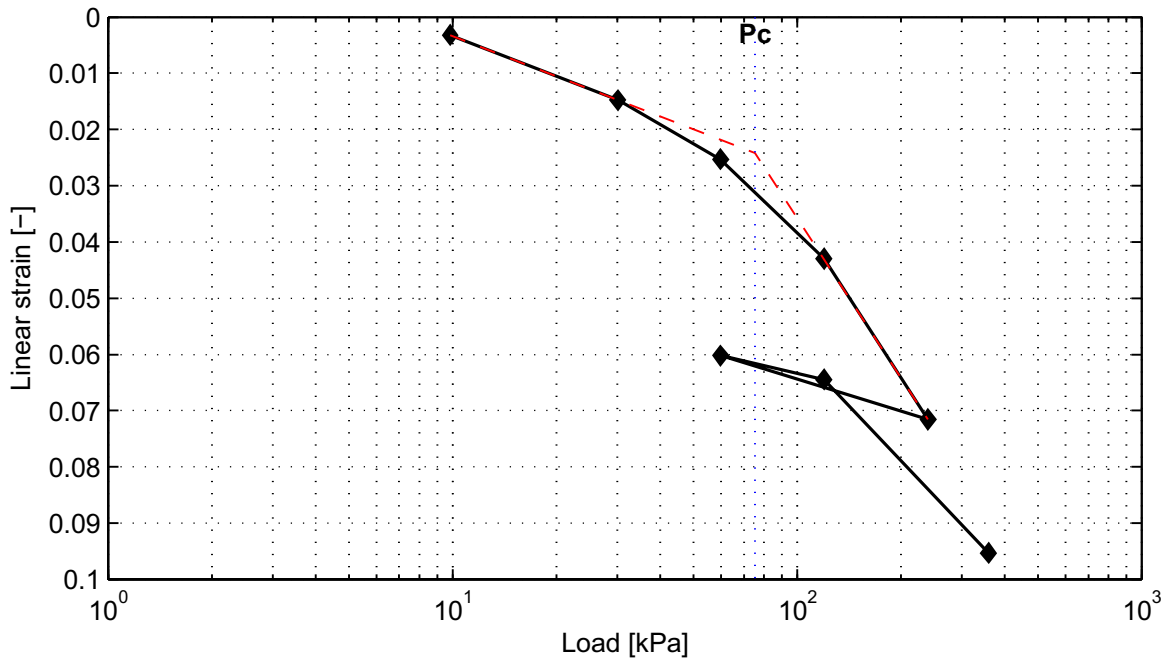
project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
SA71A

page  
3

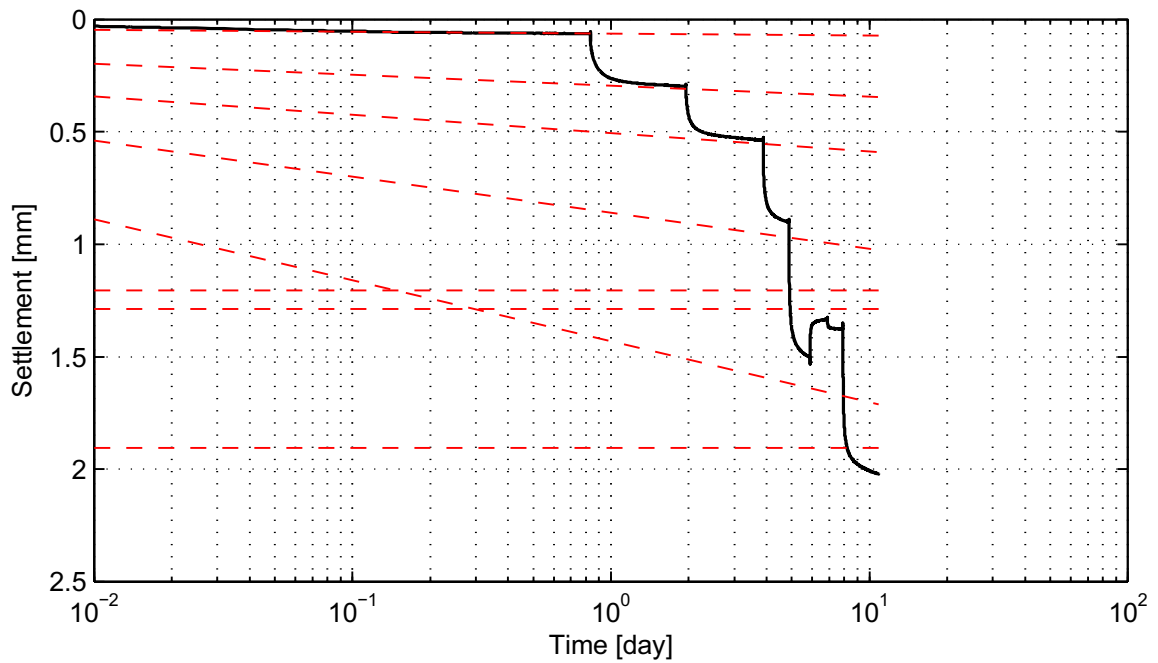
### Koppejan method



$C_p = 9.7e+001$   
 $C_{p'} = 2.4e+001$

$C_s = 5.7e+002$   
 $C_{s'} = 1.3e+002$

$C = 5.8e+001$   
 $C' = 1.4e+001$   
 $P_{c'} = 75.4 \text{ kPa}$



$C_p = 9.7e+001$   
 $C_{p'} = 2.4e+001$

$C_s = 5.7e+002$   
 $C_{s'} = 1.3e+002$

$C = 5.8e+001$   
 $C' = 1.4e+001$   
 $P_{c'} = 75.4 \text{ kPa}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
 Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 71A, depth 0.69 m till 0.65 m NAP  
**Oedometer test conform NEN 5118**

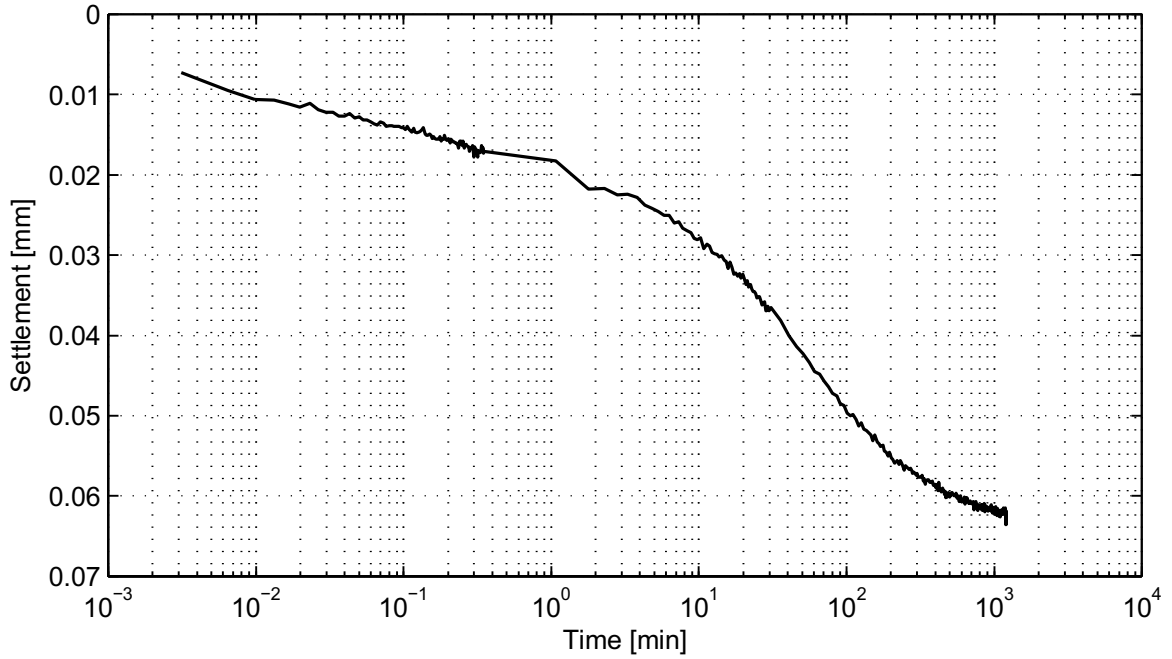
project  
 1203768.18  
 appendix  
 SA71A

seen  
 -  
 page  
 4

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:13

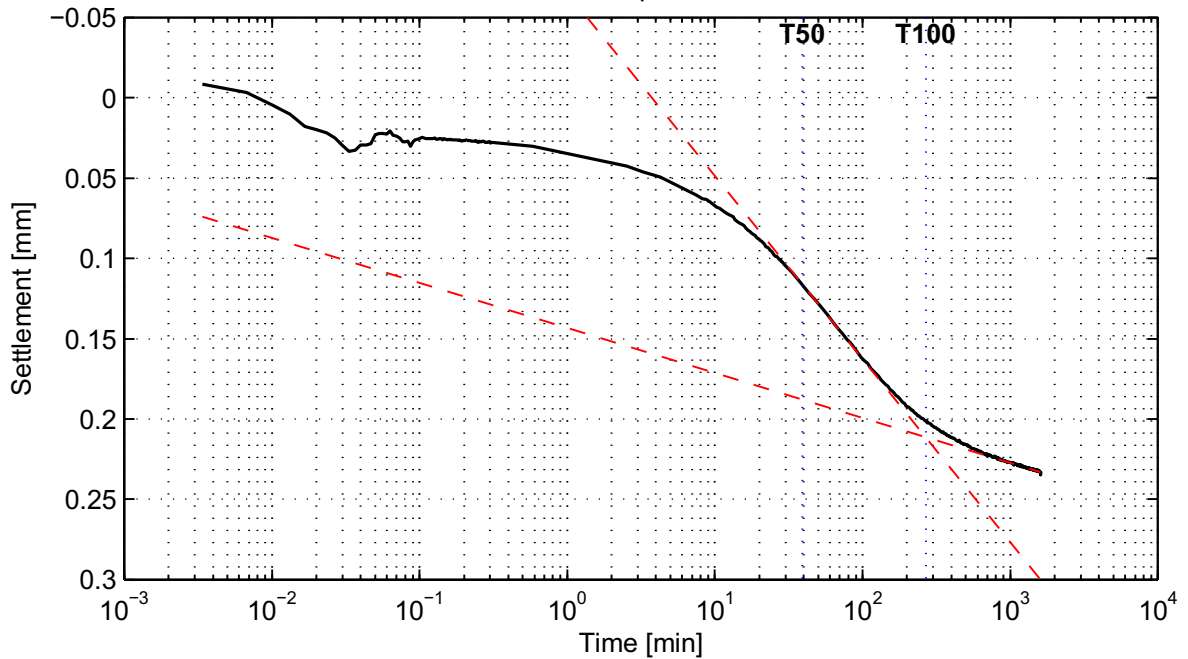
# Casagrande method (page 1/4)

Load step 10 kPa



No calculation performed.

Load step 30 kPa



$C_v = 6.3e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 4.7e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 2.9e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 71A, depth 0.69 m till 0.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

seen  
 -

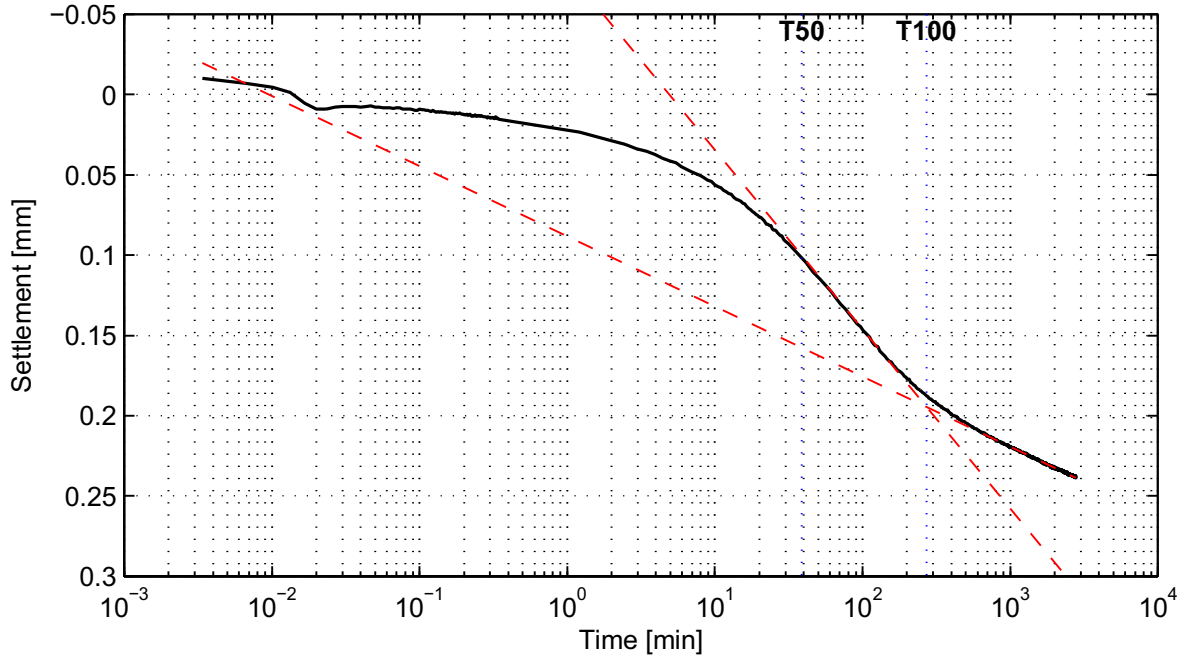
appendix  
 SA71A

page  
 5

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:13

## Casagrande method (page 2/4)

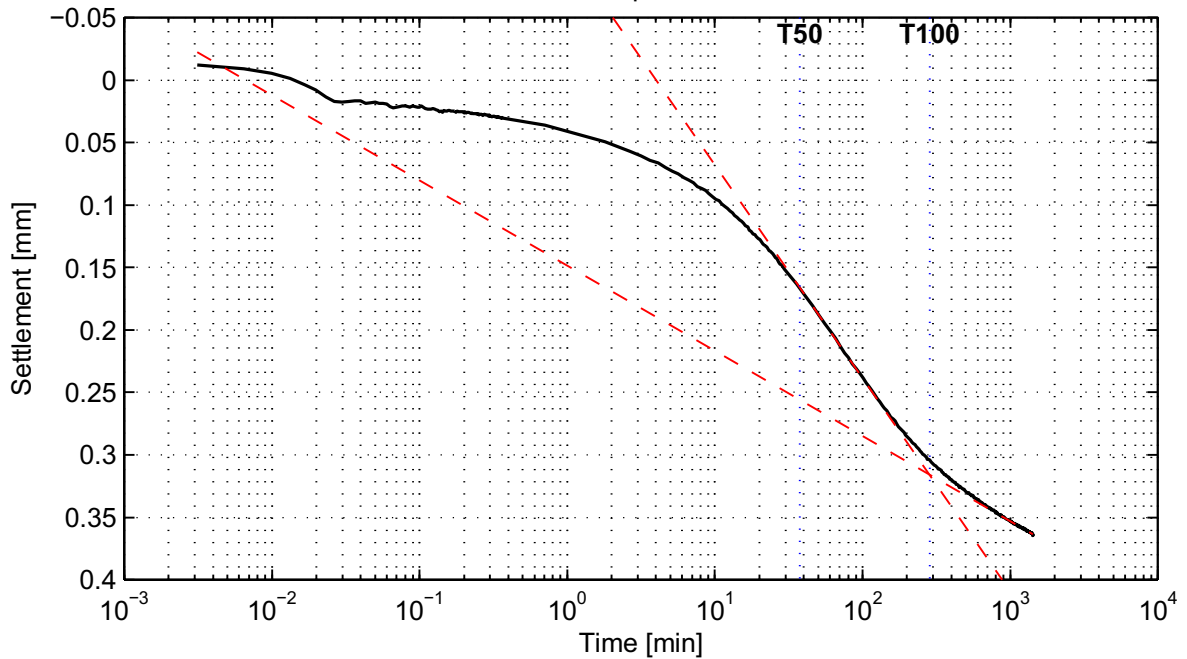
Load step 60 kPa



$C_v = 6.2e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 3.2e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.9e-011 \text{ m/s}$

Load step 119 kPa



$C_v = 6.2e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 3.5e-003$

$M_v = 2.6e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.6e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 71A, depth 0.69 m till 0.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

seen  
 -

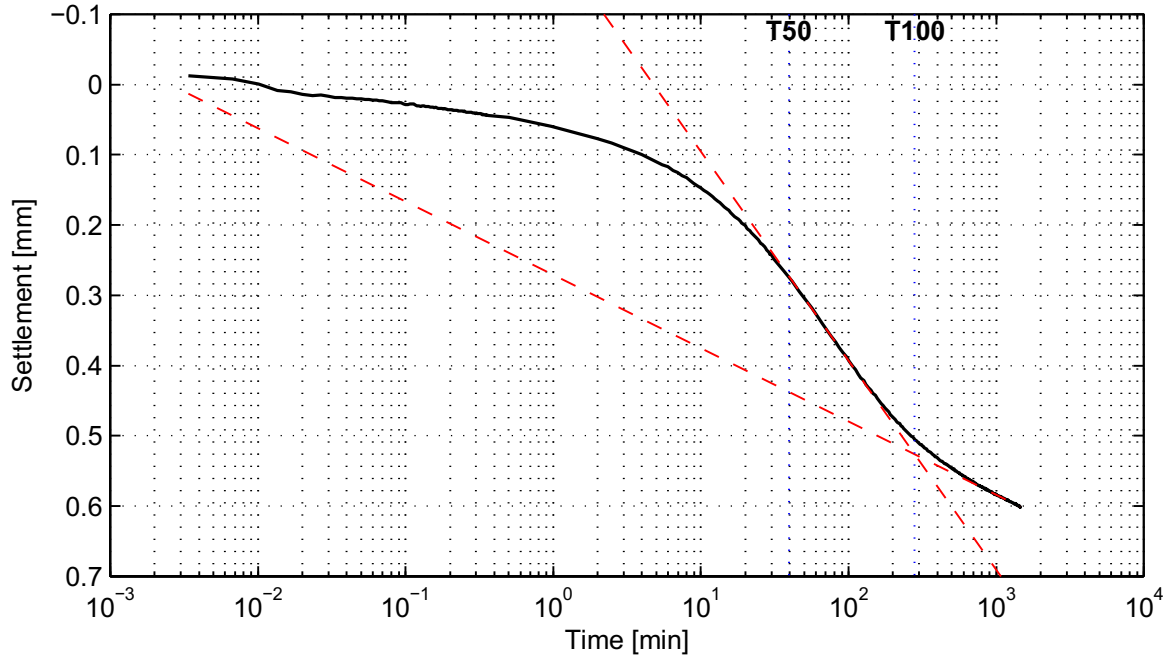
appendix  
 SA71A

page  
 6



### Casagrande method (page 3/4)

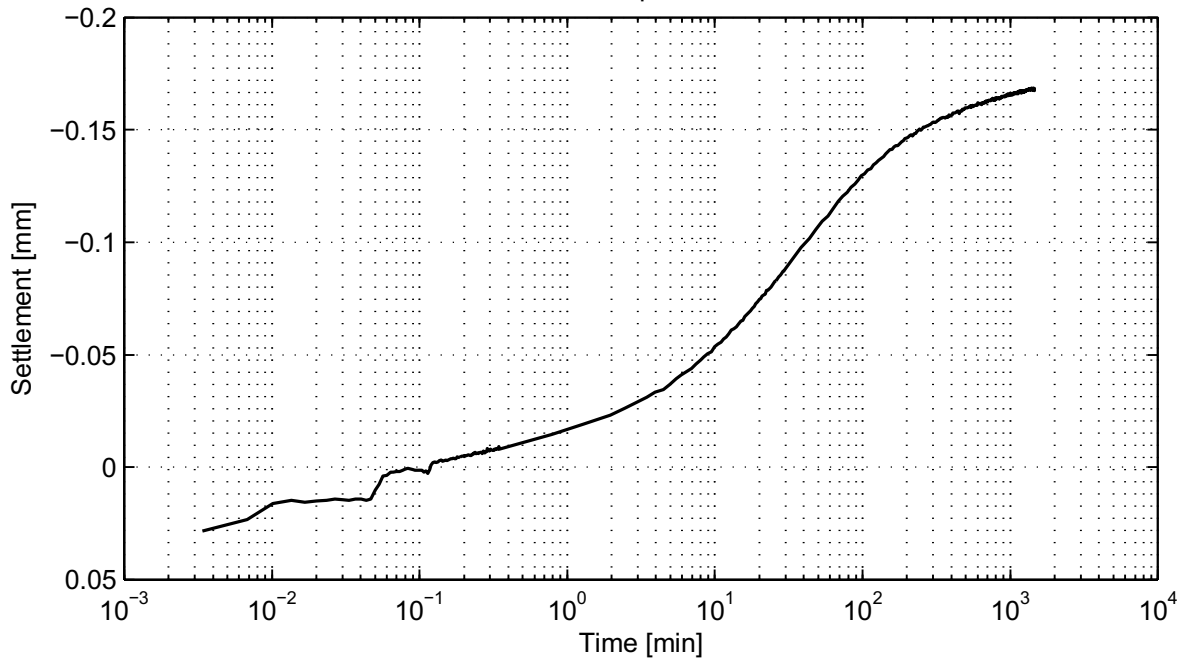
Load step 240 kPa



$C_v = 5.6e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 5.5e-003$

$M_v = 2.2e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.2e-011 \text{ m/s}$

Load step 60 kPa



No calculation performed.

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
 Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 71A, depth 0.69 m till 0.65 m NAP

project  
 1203768.18

seen  
 -

Oedometer test conform NEN 5118

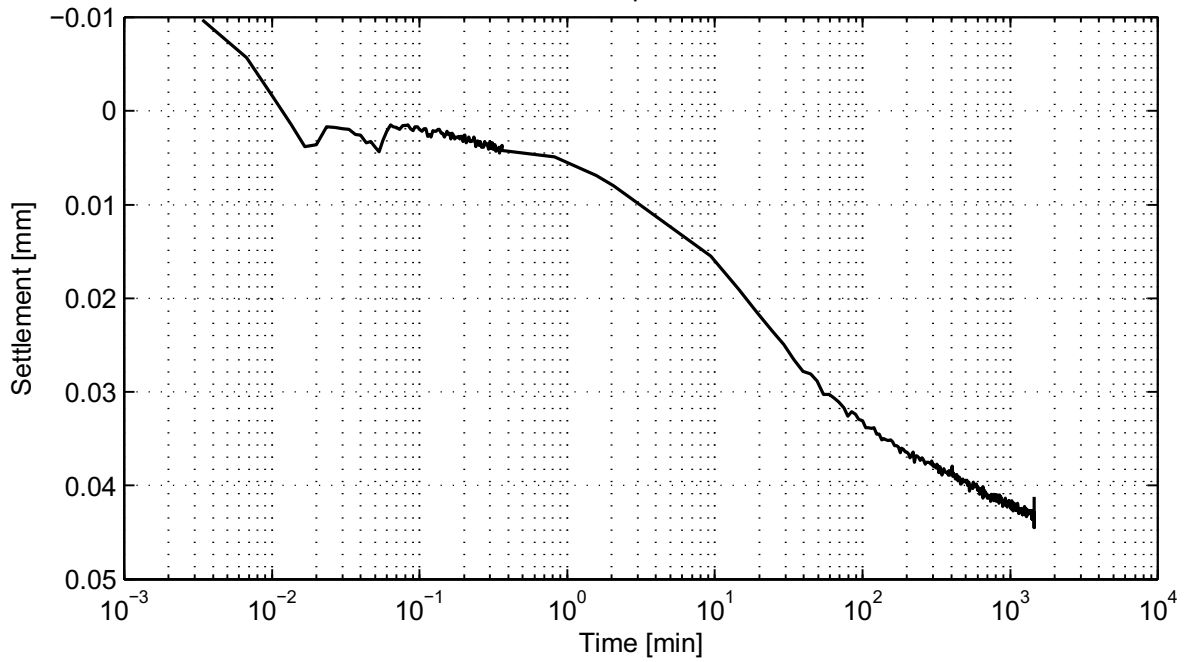
appendix  
 SA71A

page  
 7

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:13

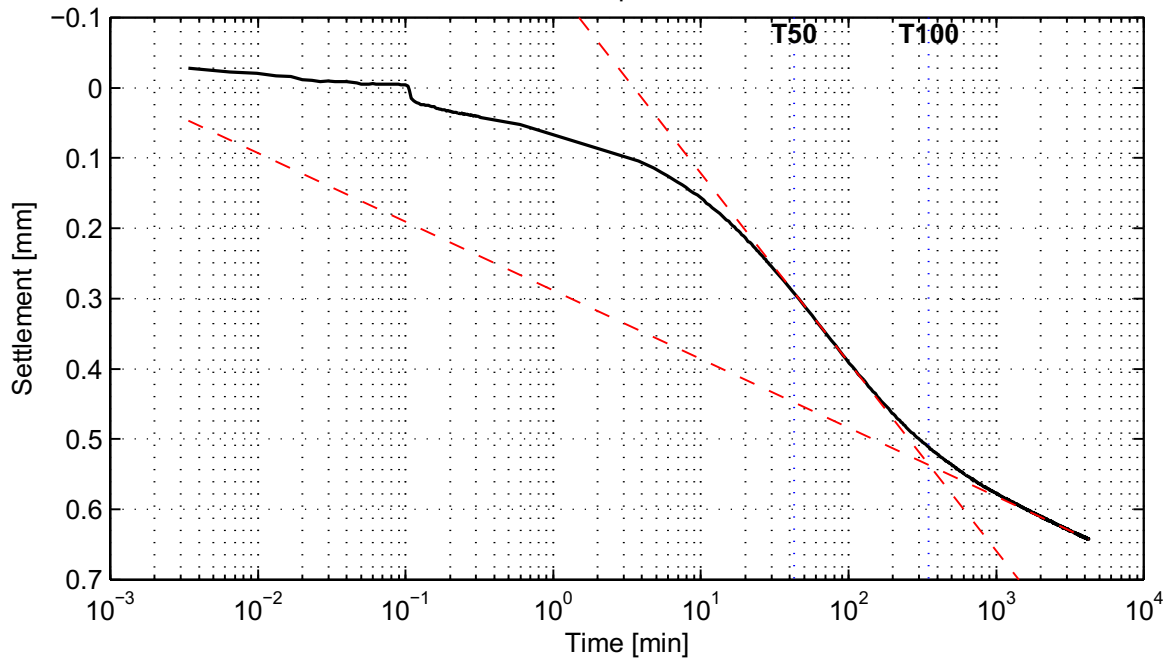
### Casagrande method (page 4/4)

Load step 119 kPa



No calculation performed.

Load step 359 kPa



$C_v = 4.9e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 1.1e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 5.3e-012 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
 Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 71A, depth 0.69 m till 0.65 m NAP

project  
 1203768.18

seen  
 -

Oedometer test conform NEN 5118

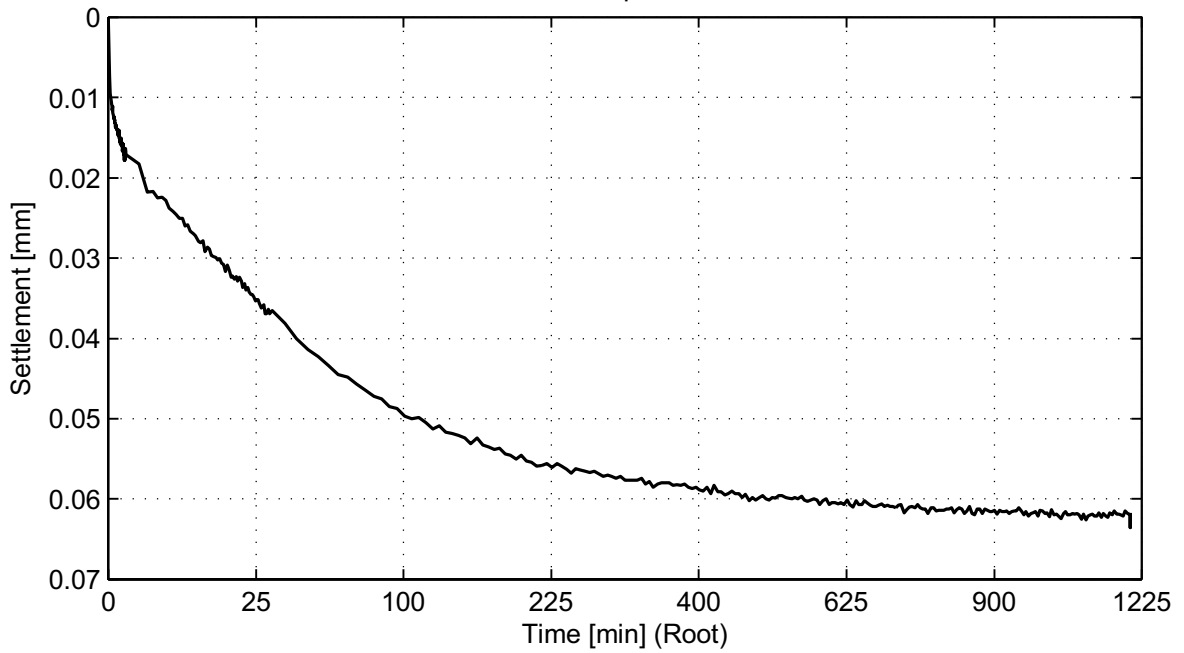
appendix  
 SA71A

page  
 8

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:13

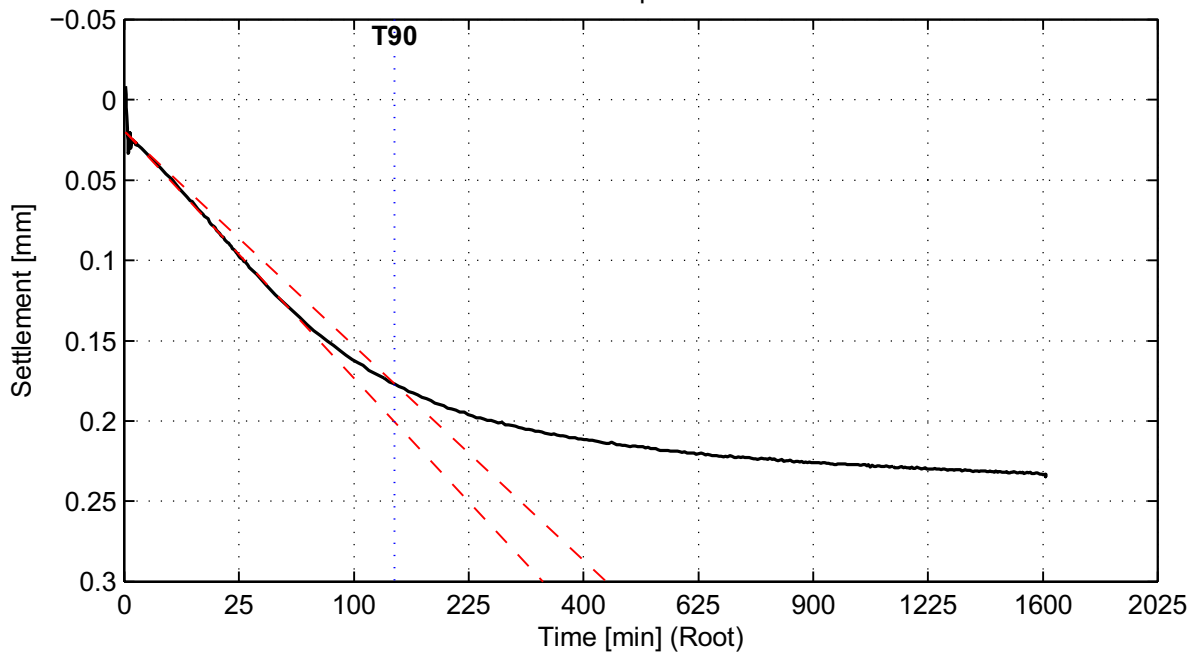
## Taylor method (page 1/4)

Load step 10 kPa



No calculation performed.

Load step 30 kPa



$C_v = 7.6e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

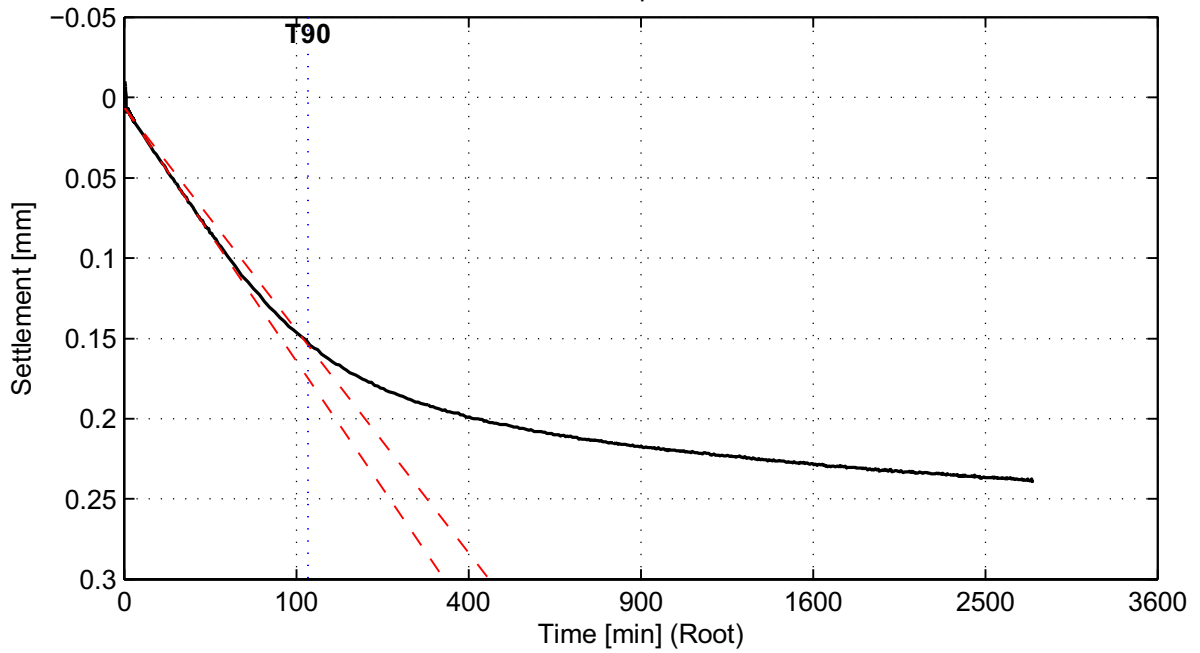
Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 71A, depth 0.69 m till 0.65 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18  
appendix  
SA71A

seen  
-  
page  
9

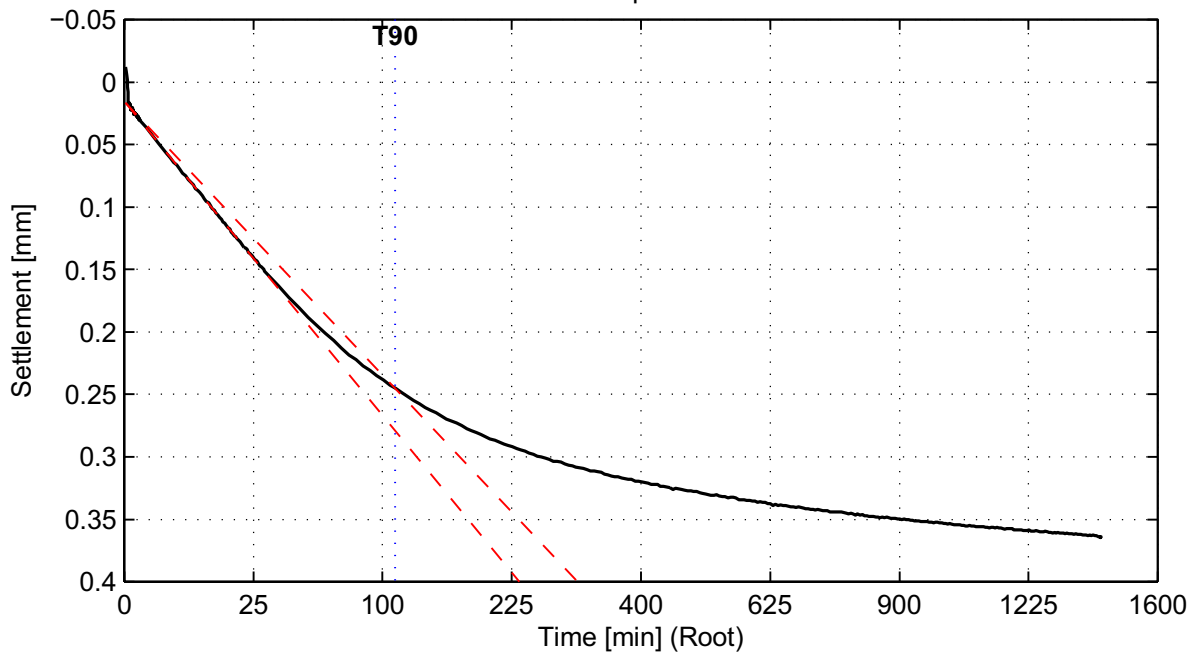
## Taylor method (page 2/4)

Load step 60 kPa



$C_v = 9.0e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 119 kPa



$C_v = 9.1e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 71A, depth 0.69 m till 0.65 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

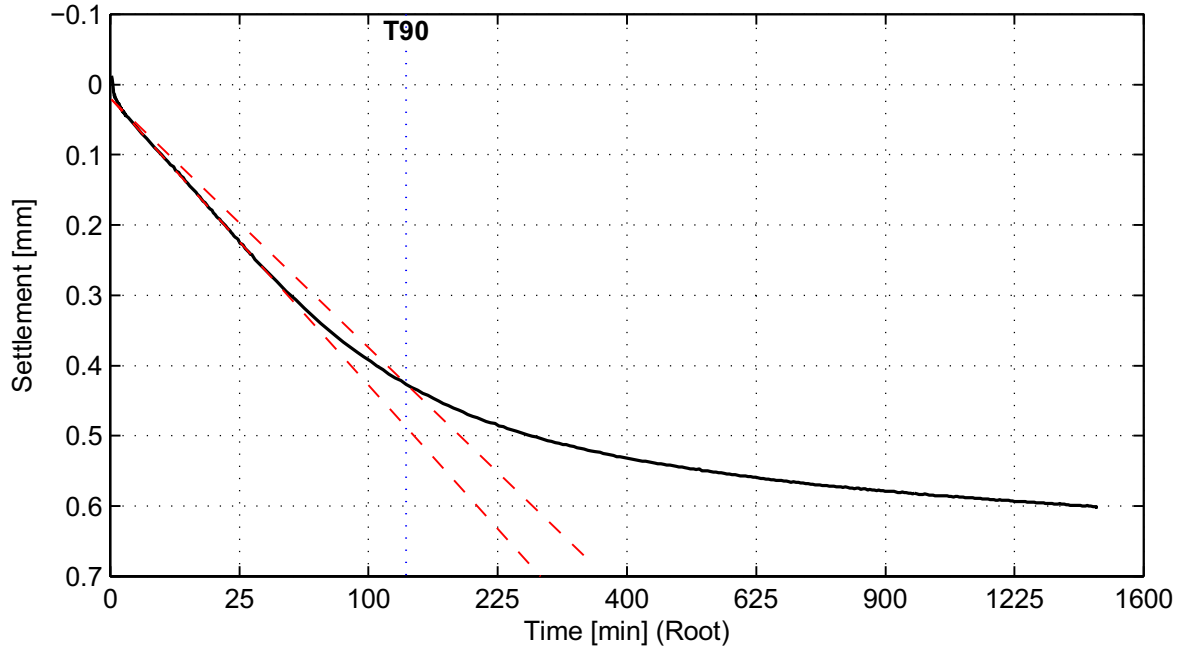
project  
1203768.18  
appendix  
SA71A

seen  
-  
page  
10

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:13

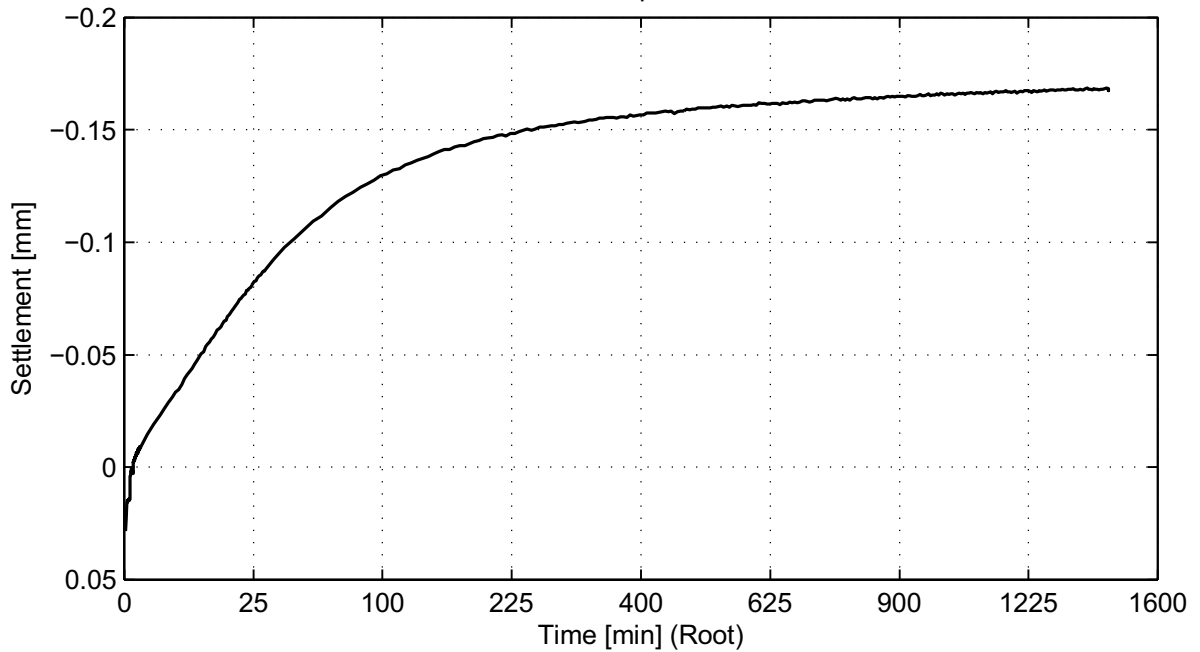
## Taylor method (page 3/4)

Load step 240 kPa



$C_v = 7.2e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 60 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 71A, depth 0.69 m till 0.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

seen  
-

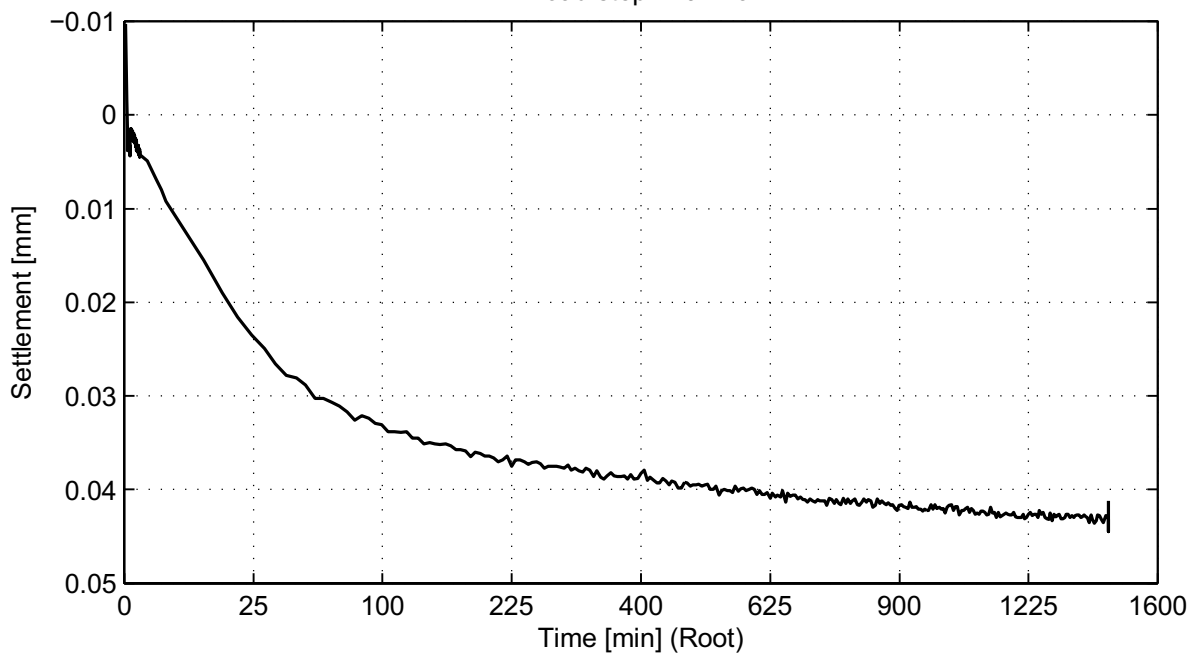
appendix  
SA71A

page  
11

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:13

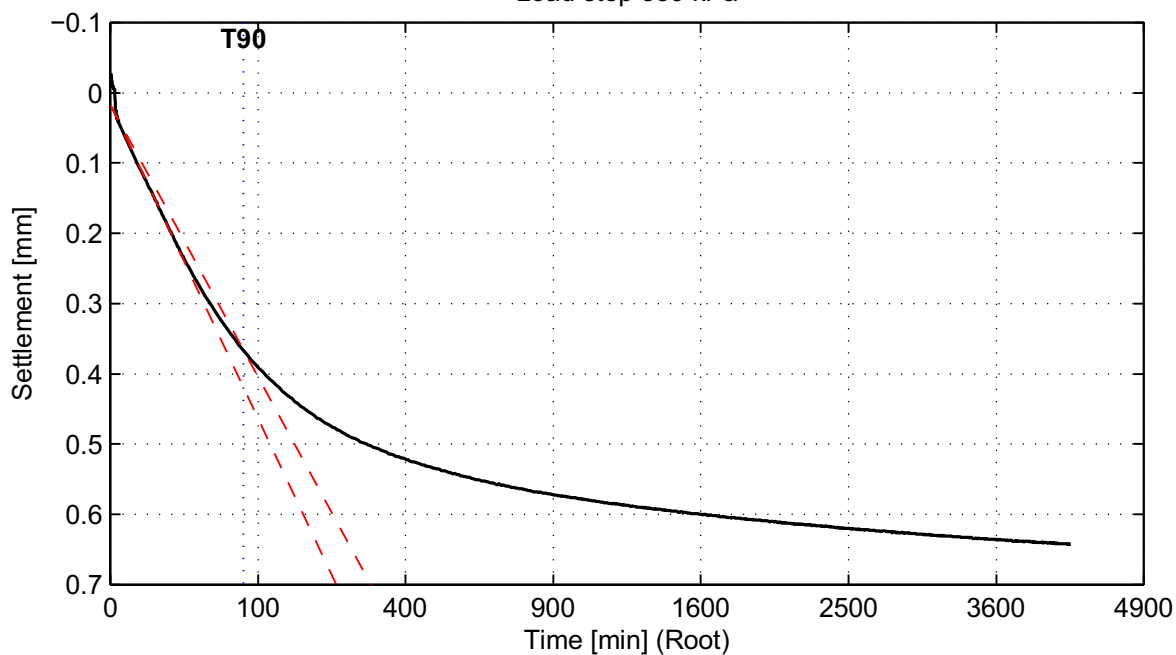
## Taylor method (page 4/4)

Load step 119 kPa



No calculation performed.

Load step 359 kPa



$C_v = 1.1e-008 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 71A, depth 0.69 m till 0.65 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

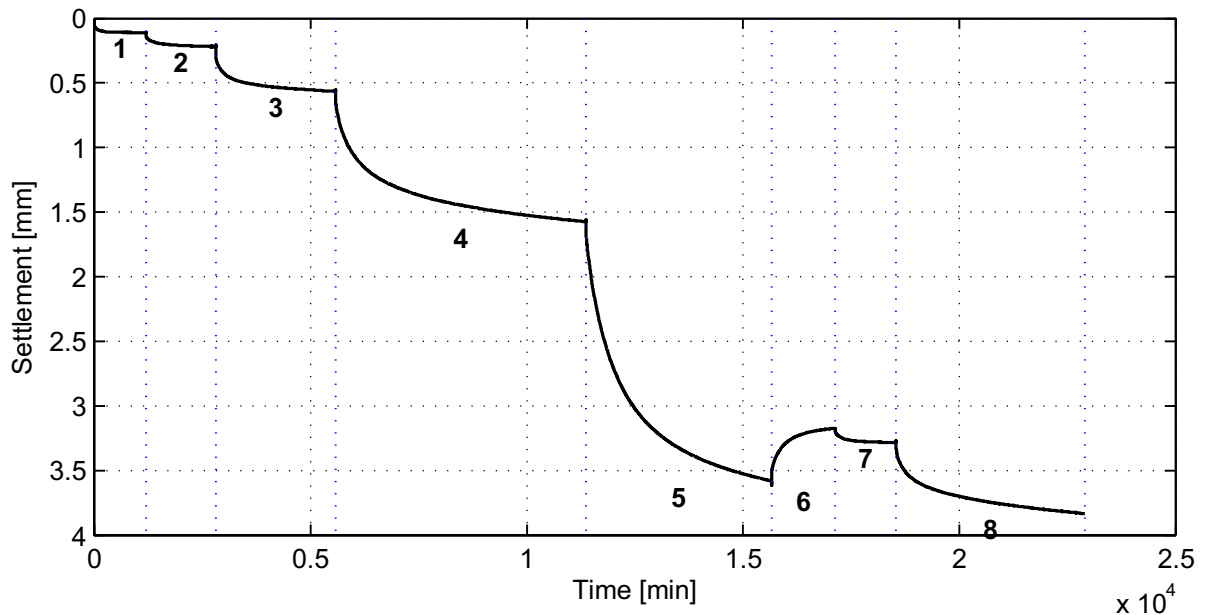
project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
SA71A

page  
12

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:13



### General soil and test parameters

Soil description (NEN 5104)	Ks2h2; met veenstukjes.
Initial volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	13.2
Initial volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	5.9
Volumetric weight particles [kN/m <sup>3</sup> ]	21.3
Initial water content [%]	123.4
Initial sample height [mm]	20
Initial sample diameter [mm]	63
Initial saturation [-]	1.0
Final volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	14.3
Final volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	7.3
Final water content [%]	96.6
Final saturation [-]	1.1
Type of test (wet/dry)	Wet
Visual disturbance sample	undisturbed
Startdate	2012-04-12
Enddate	2012-04-30
Sample disturbance index	2.0, good
Lab temperature [° C]	20.4
Pc <sub>Becker</sub> [kPa]	150.1
Pc <sub>Janbu</sub> [kPa]	-

Load step number	Load [kPa]
1	20
2	40
3	99
4	200
5	400
6	100
7	200
8	400

References:  
 Isotachenparameters: CUR recommendation 101  
 Pc Becker: Becker et al. (1987)  
 Pc Janbu: Janbu (1969)  
 Sample disturbance index: Lunne et al (2006)

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
 Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 74A, depth -2.68 m till -2.72 m NAP

project  
 1203768.18

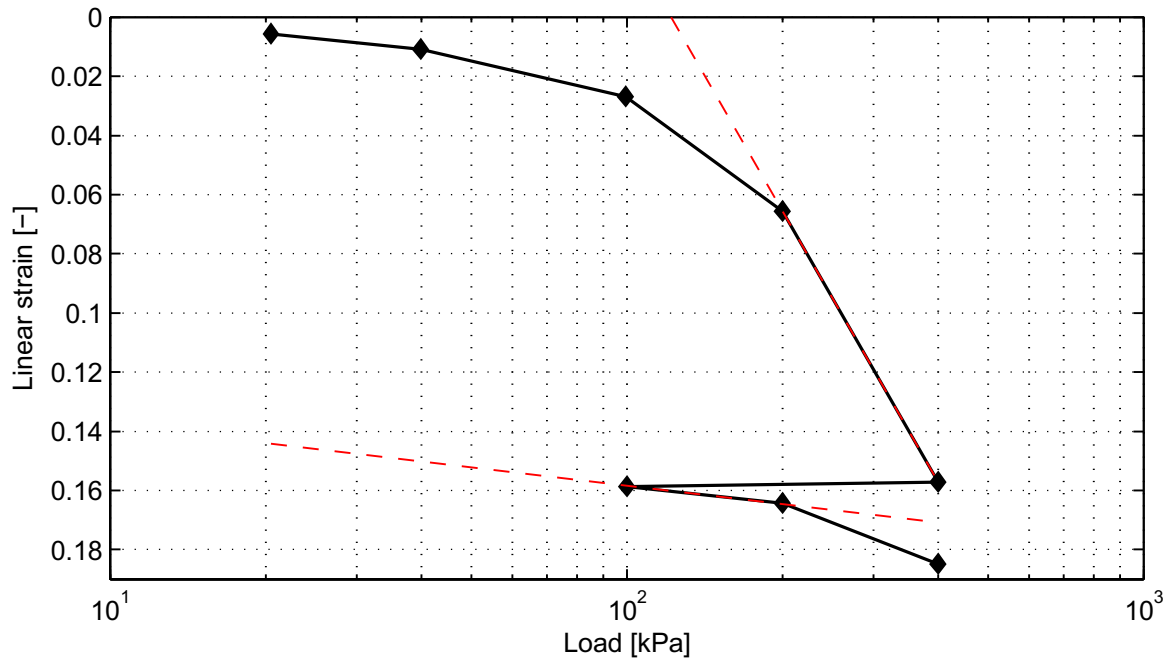
seen  
 -

Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
 SA74A

page  
 1

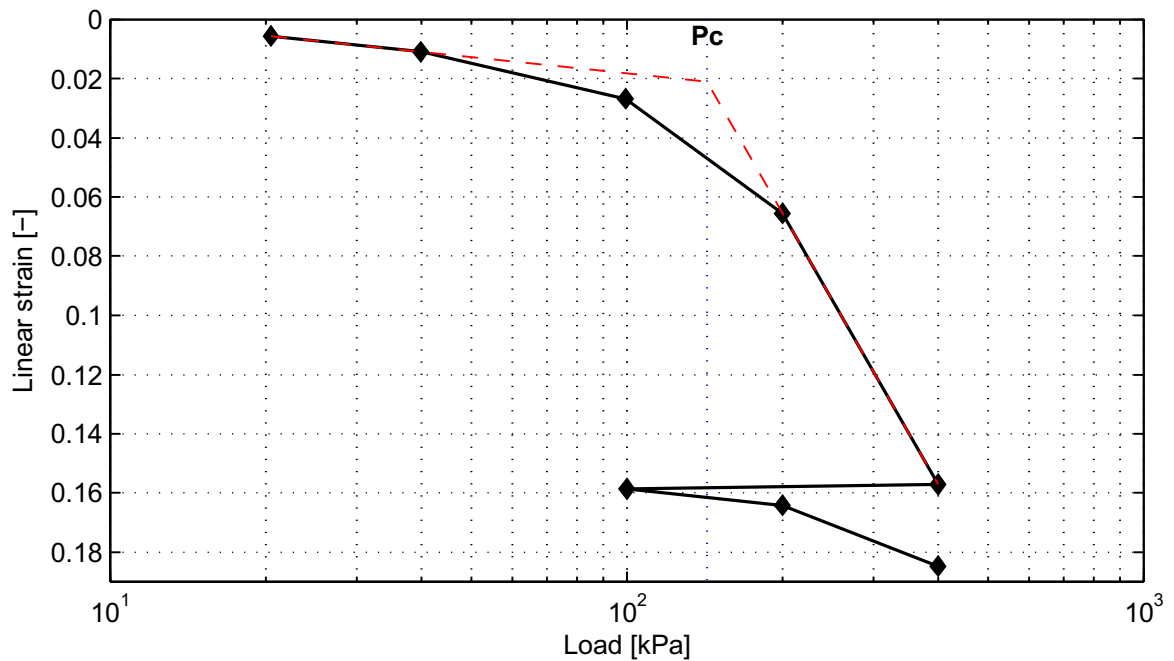
### NEN-Bjerrum method



RR = 2.1e-002  
CR = 3.0e-001

Ca = 3.3e-002

Vo = 3.60



Pc = 142.7 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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 74A, depth -2.68 m till -2.72 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

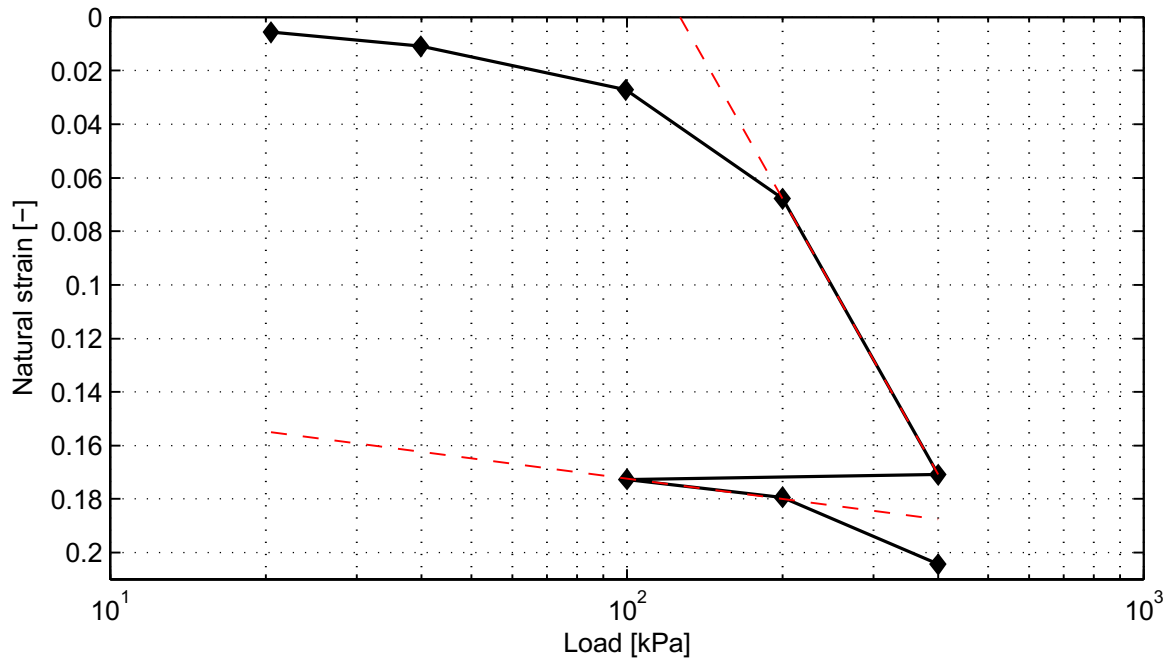
project  
1203768.18  
appendix  
SA74A

seen  
-  
page  
2

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:40

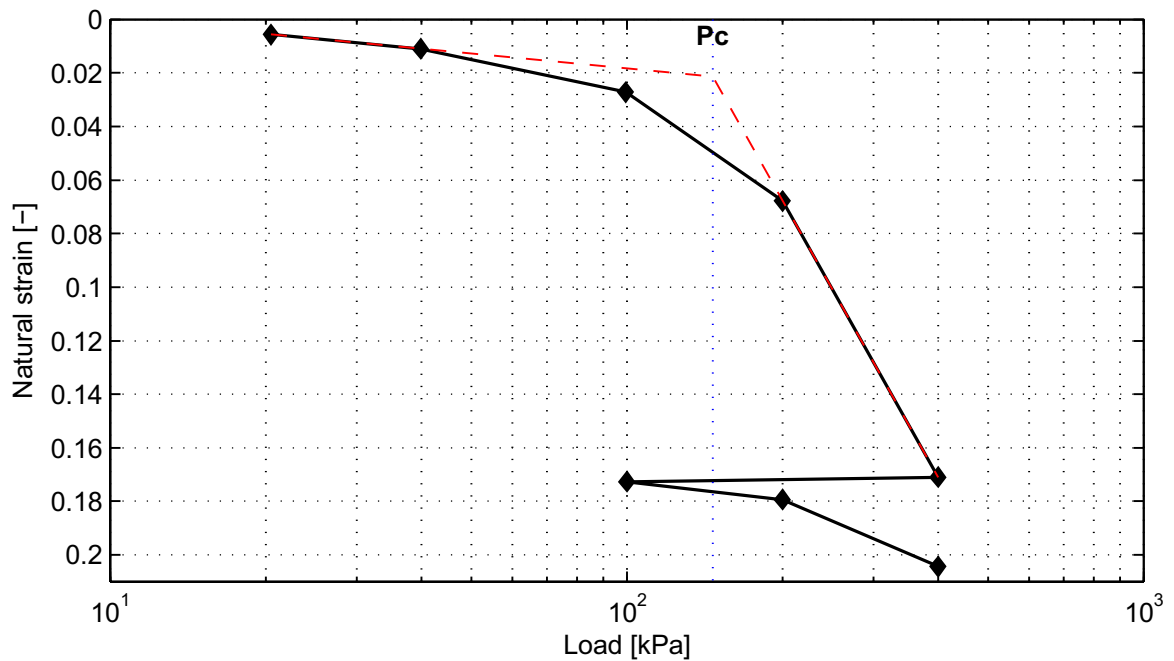


### Isotachen method



A = 1.1e-002  
B = 1.5e-001

C = 1.5e-002



Pc = 146.3 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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 74A, depth -2.68 m till -2.72 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

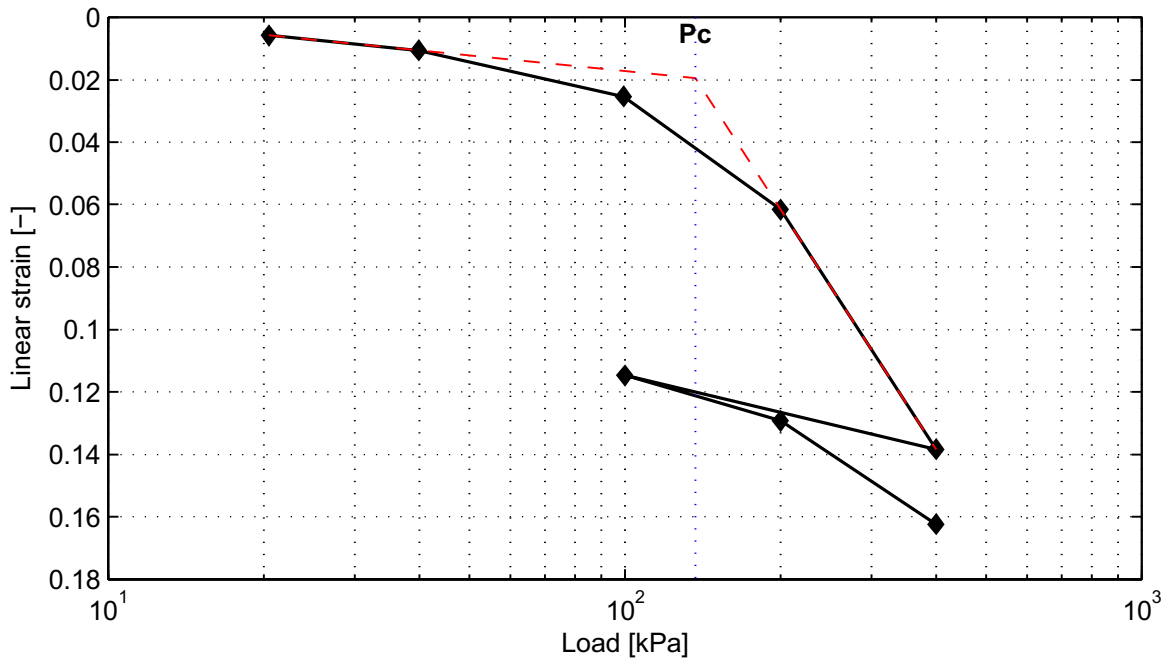
project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
SA74A

page  
3

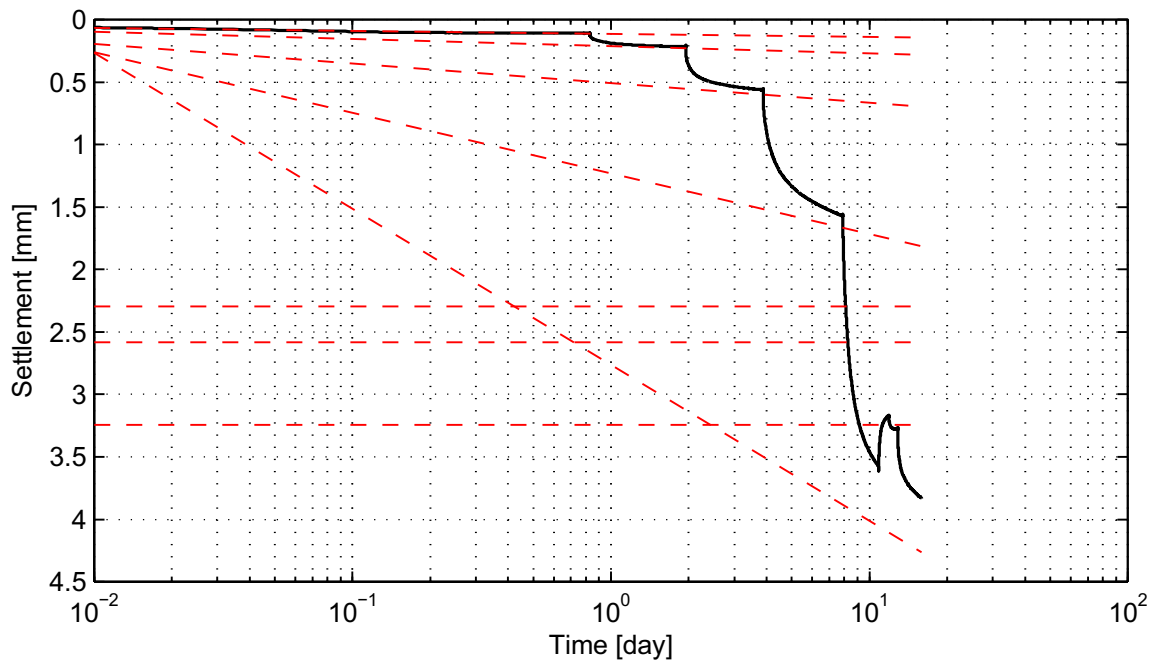
### Koppejan method



$C_p = 1.4e+002$   
 $C_p' = 9.0e+000$

$C_s = 4.2e+002$   
 $C_s' = 1.8e+001$

$C = 5.9e+001$   
 $C' = 3.0e+000$   
 $P_{c'} = 136.7 \text{ kPa}$



$C_p = 1.4e+002$   
 $C_p' = 9.0e+000$

$C_s = 4.2e+002$   
 $C_s' = 1.8e+001$

$C = 5.9e+001$   
 $C' = 3.0e+000$   
 $P_{c'} = 136.7 \text{ kPa}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 74A, depth -2.68 m till -2.72 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

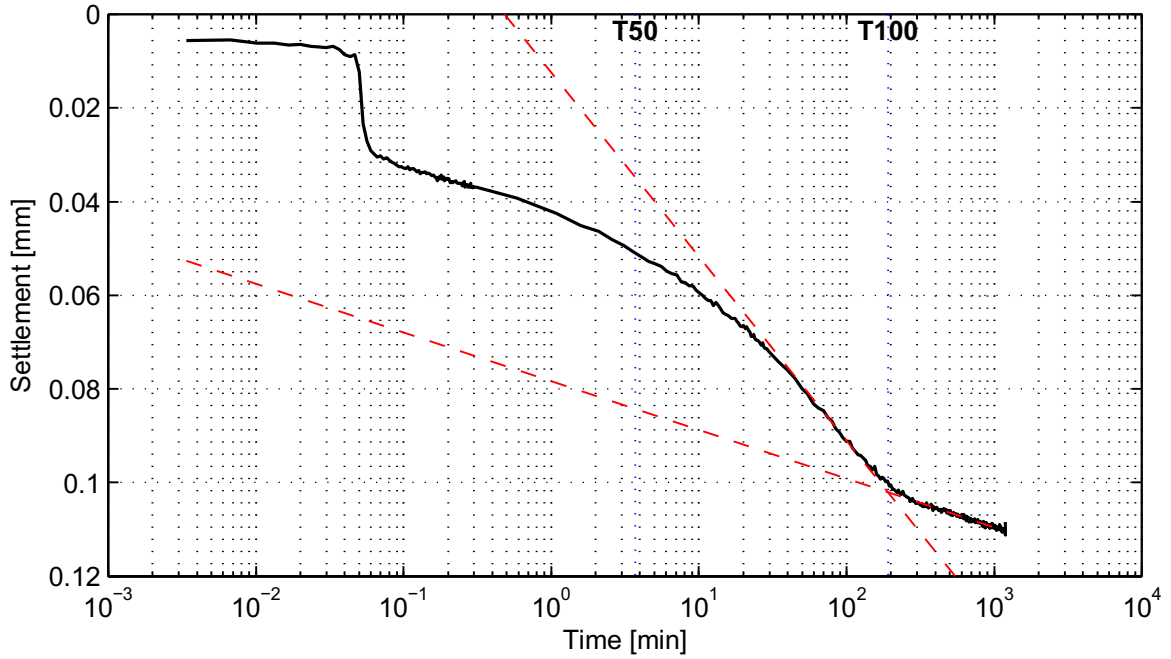
seen  
-

appendix  
SA74A

page  
4

### Casagrande method (page 1/4)

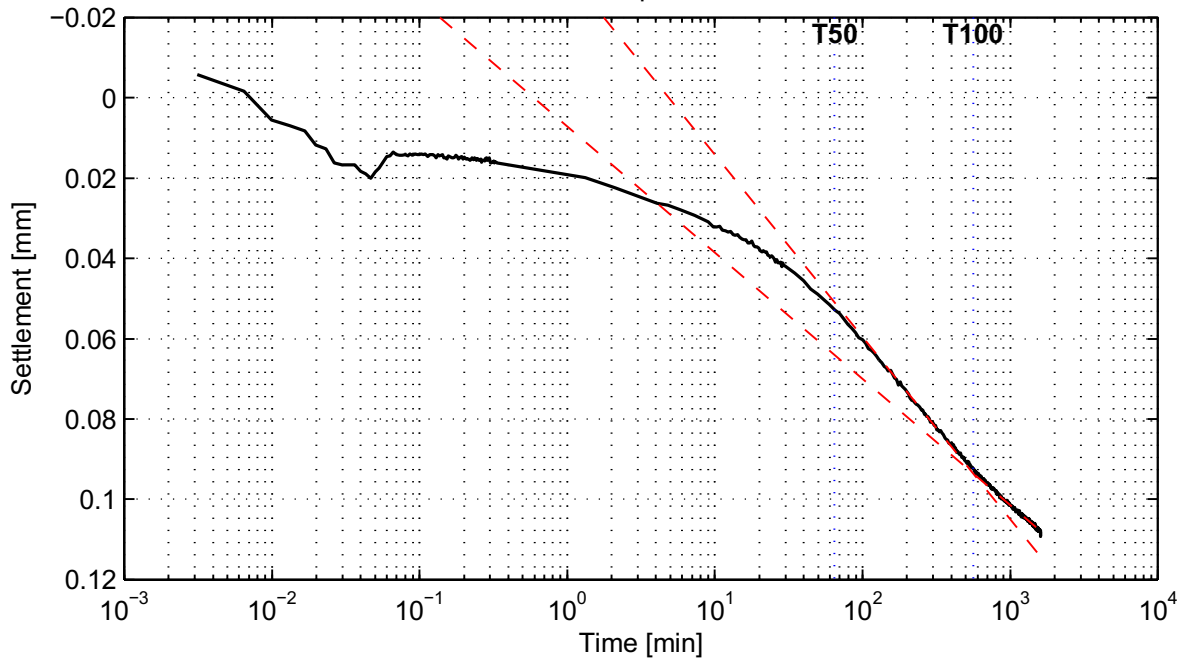
Load step 20 kPa



$C_v = 6.7e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 2.5e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.6e-010 \text{ m/s}$

Load step 40 kPa



$C_v = 3.8e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 2.1e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 7.9e-012 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 74A, depth -2.68 m till -2.72 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

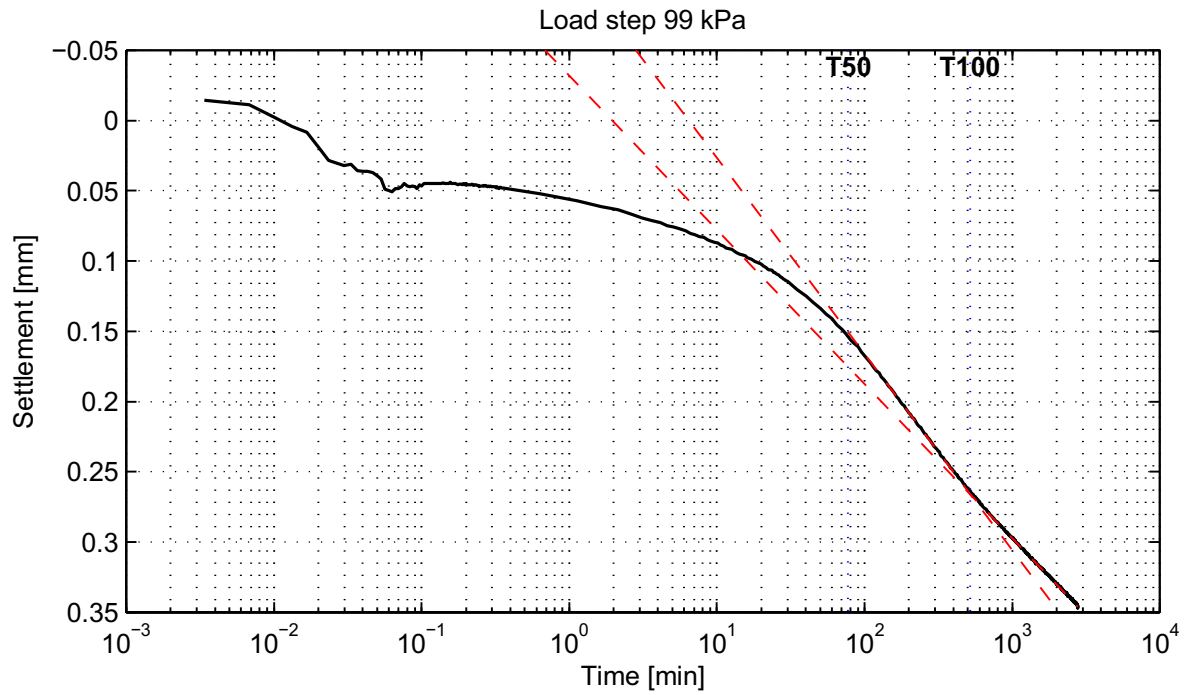
project  
 1203768.18

seen  
 -

appendix  
 SA74A

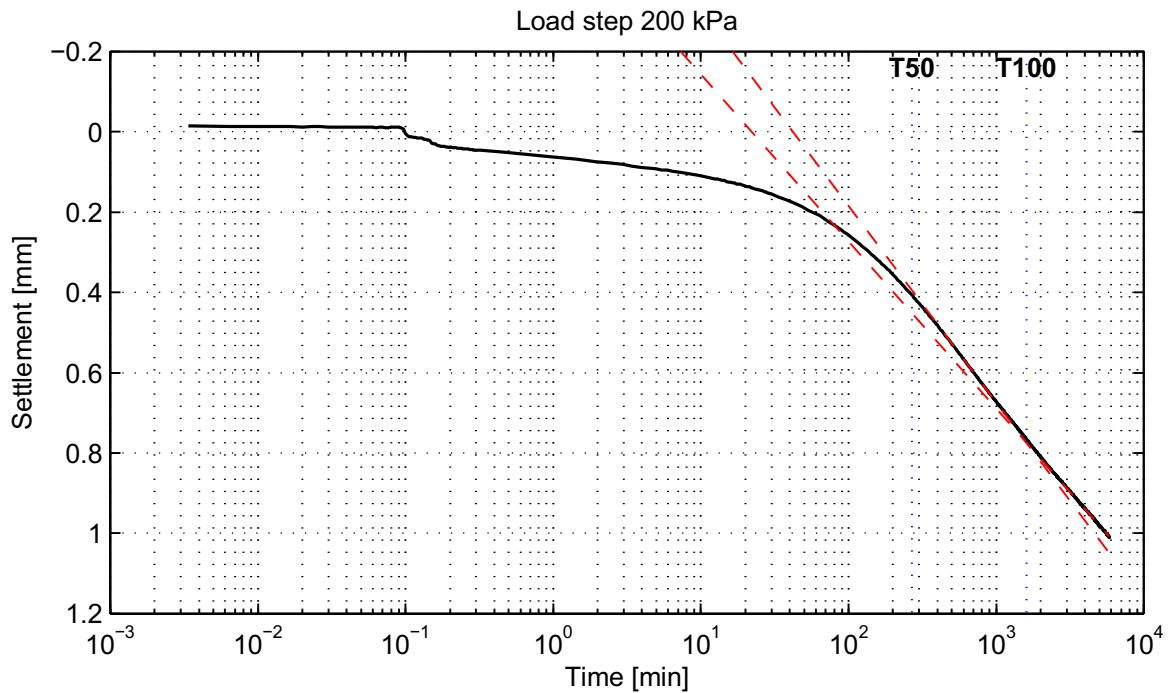
page  
 5

## Casagrande method (page 2/4)



$C_v = 3.1e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 1.9e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 5.8e-012 \text{ m/s}$



$C_v = 8.5e-010 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 2.1e-002$

$M_v = 3.8e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 3.1e-012 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 74A, depth -2.68 m till -2.72 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

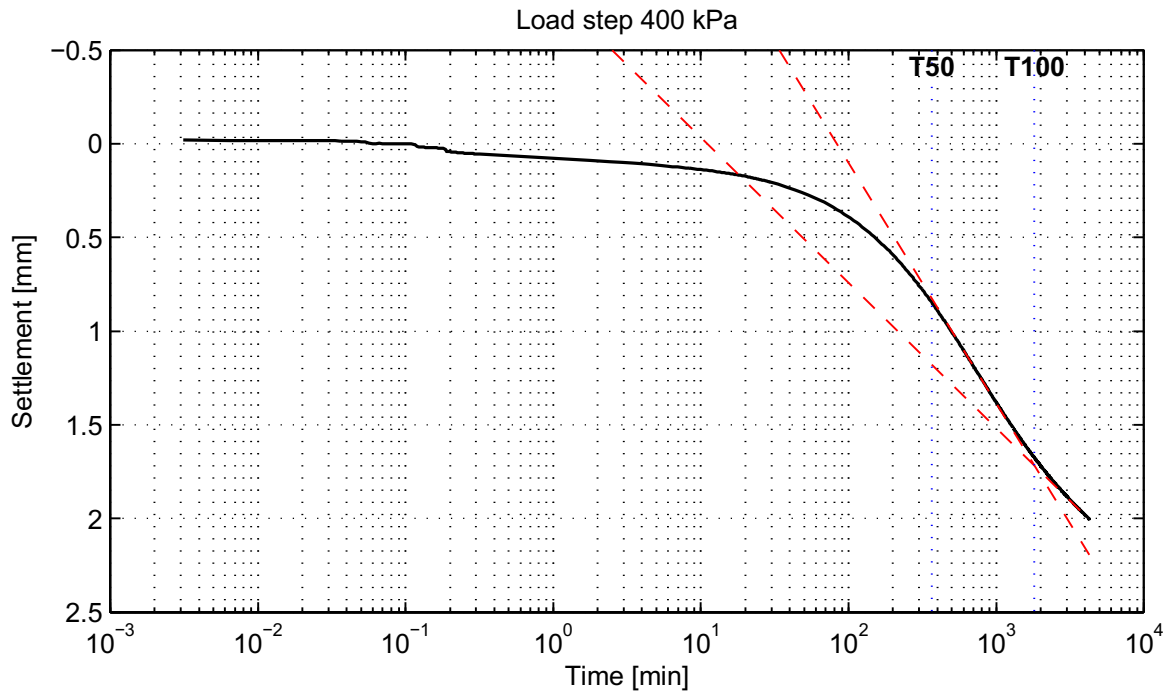
project  
 1203768.18

seen  
 -

appendix  
 SA74A

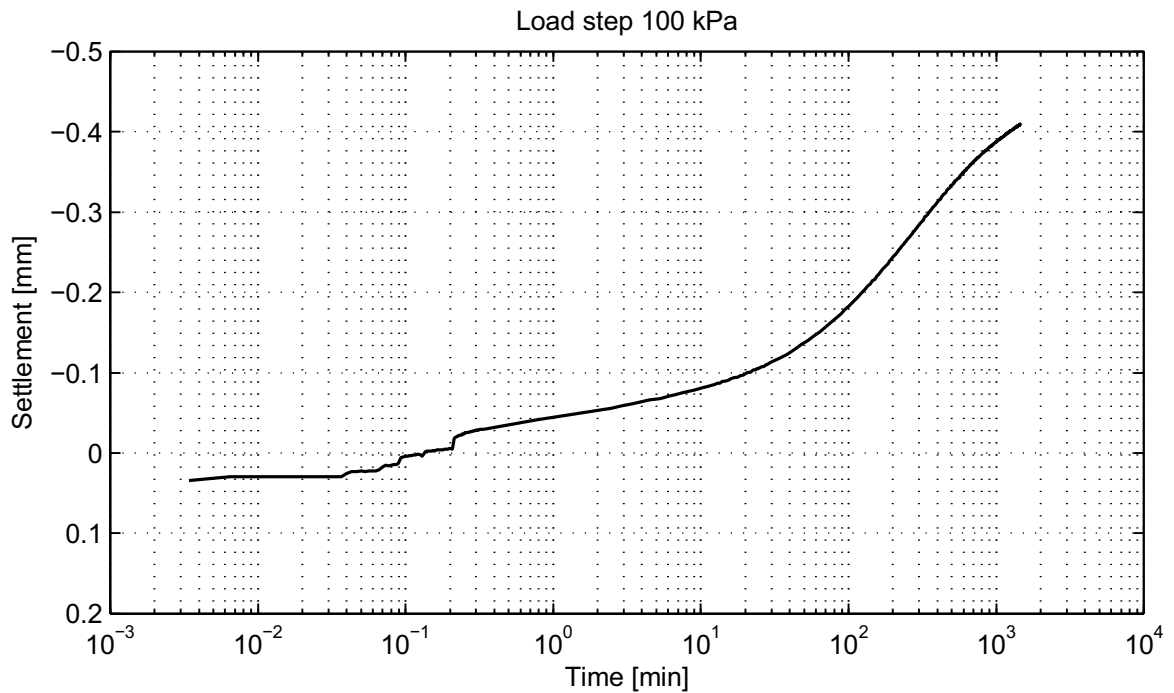
page  
 6

### Casagrande method (page 3/4)



$C_v = 5.3e-010 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 4.2e-002$

$M_v = 4.7e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 2.4e-012 \text{ m/s}$



No calculation performed.

**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  
 2012-05-07

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 74A, depth -2.68 m till -2.72 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

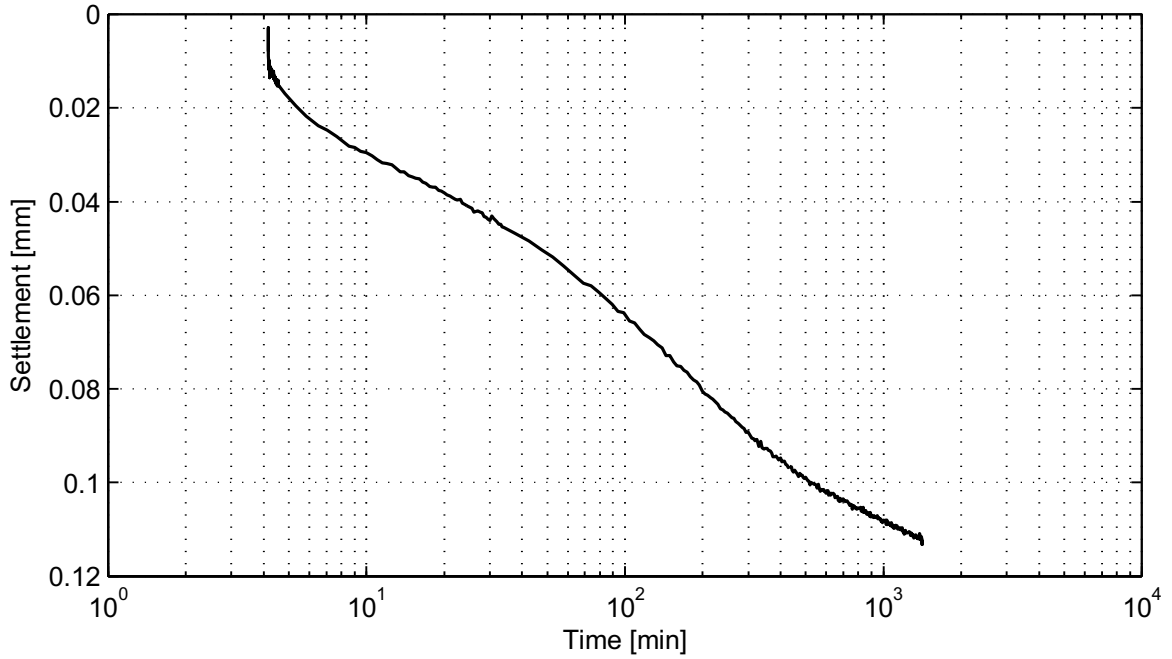
seen  
 -

appendix  
 SA74A

page  
 7

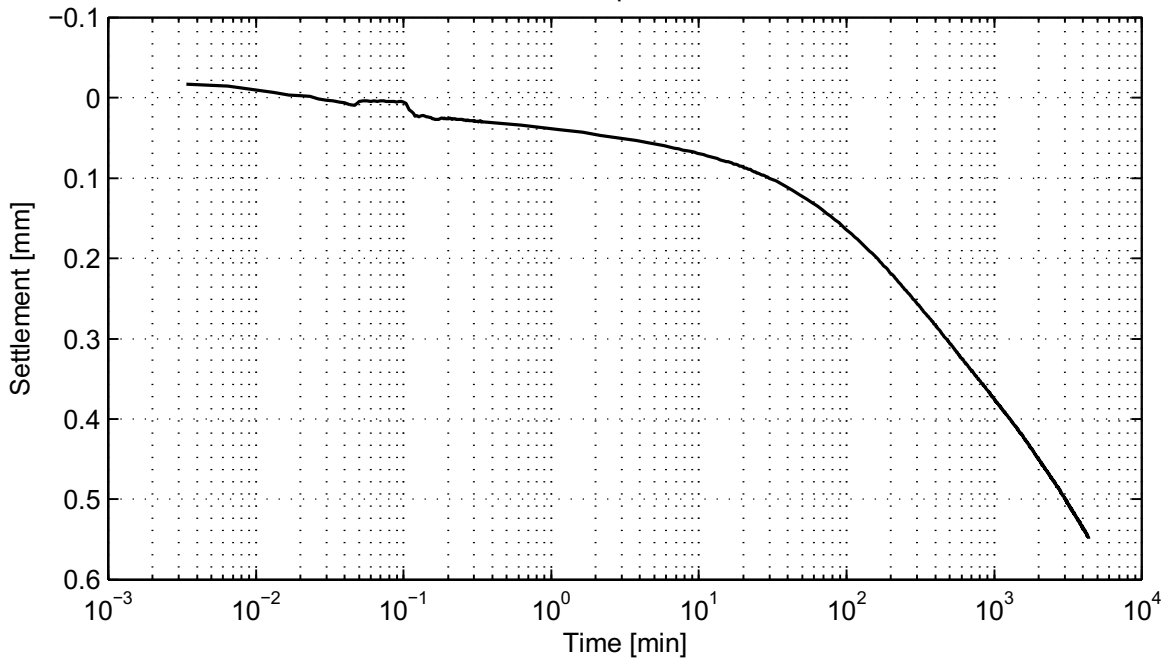
## Casagrande method (page 4/4)

Load step 200 kPa



No calculation performed.

Load step 400 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 74A, depth -2.68 m till -2.72 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

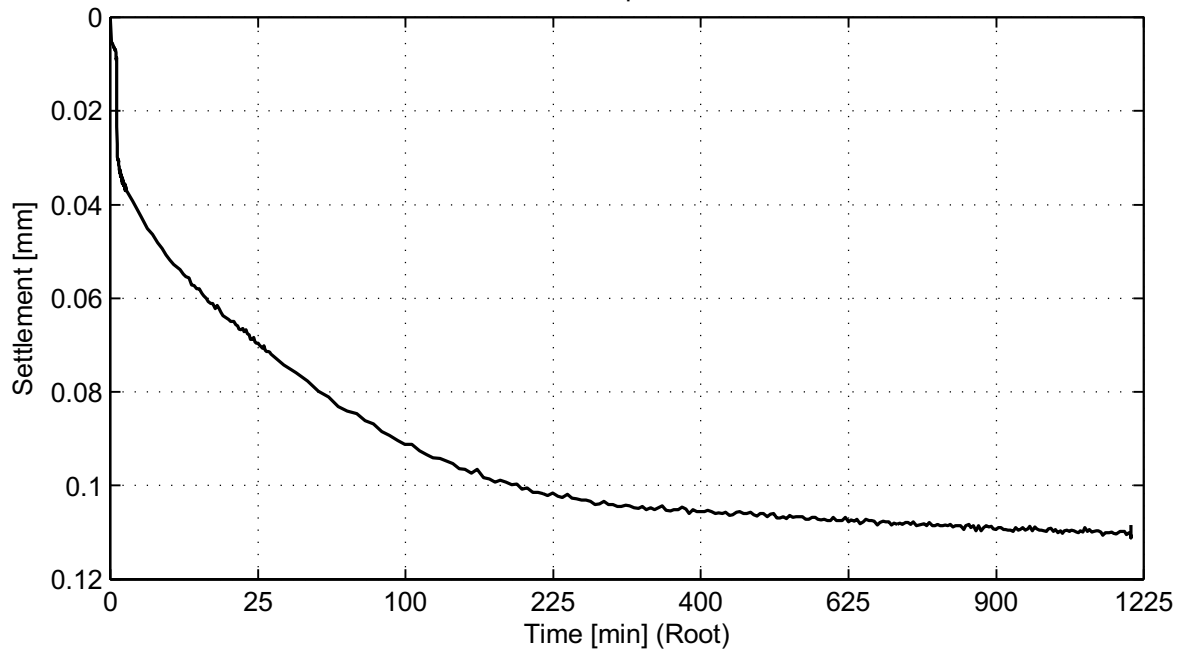
seen  
-

appendix  
SA74A

page  
8

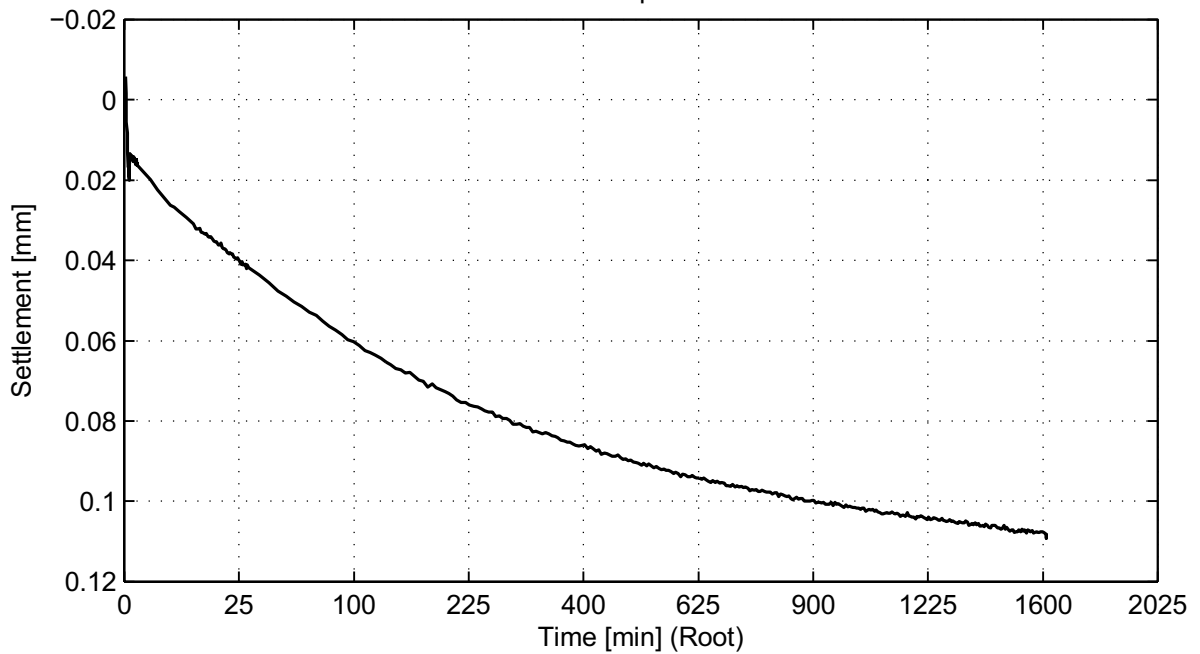
## Taylor method (page 1/4)

Load step 20 kPa



No calculation performed.

Load step 40 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-07

signed  
ess

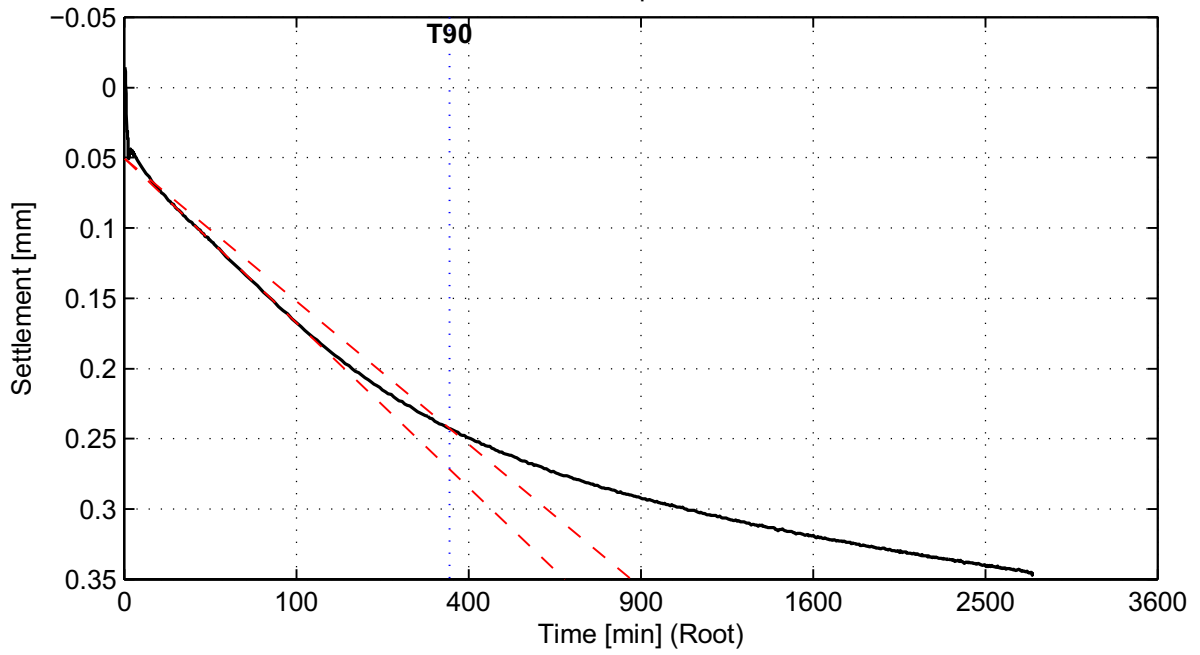
Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 74A, depth -2.68 m till -2.72 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18  
appendix  
SA74A

seen  
-  
page  
9

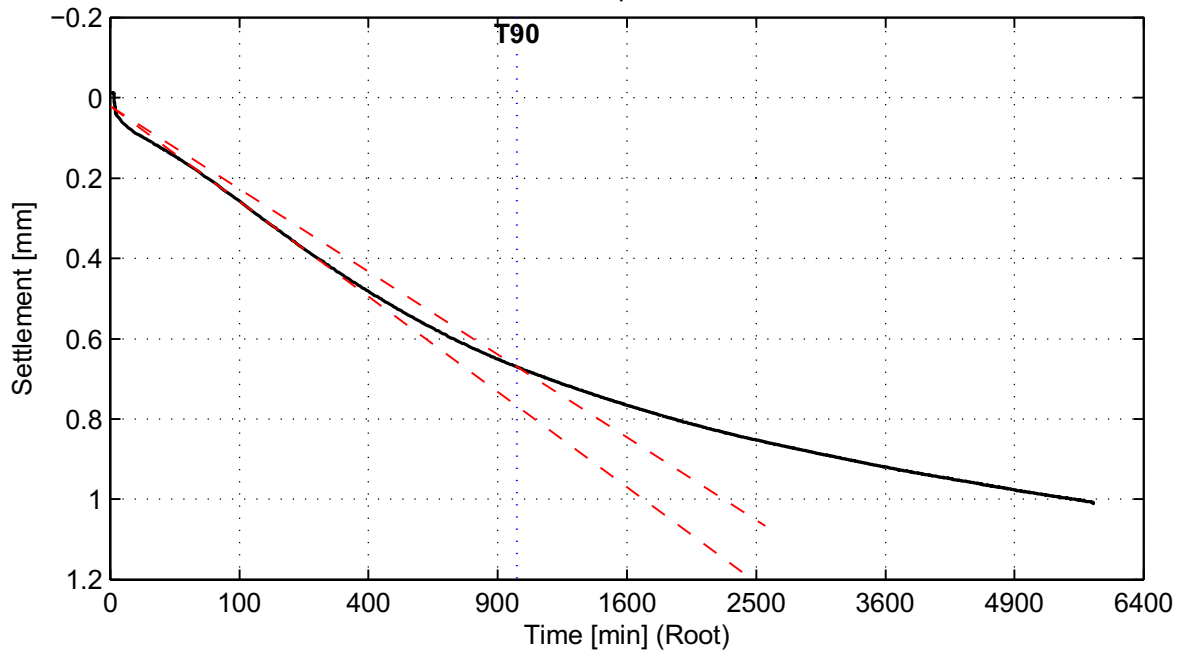
## Taylor method (page 2/4)

Load step 99 kPa



$C_v = 2.9e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 200 kPa



$C_v = 9.6e-010 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 74A, depth -2.68 m till -2.72 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18  
appendix  
SA74A

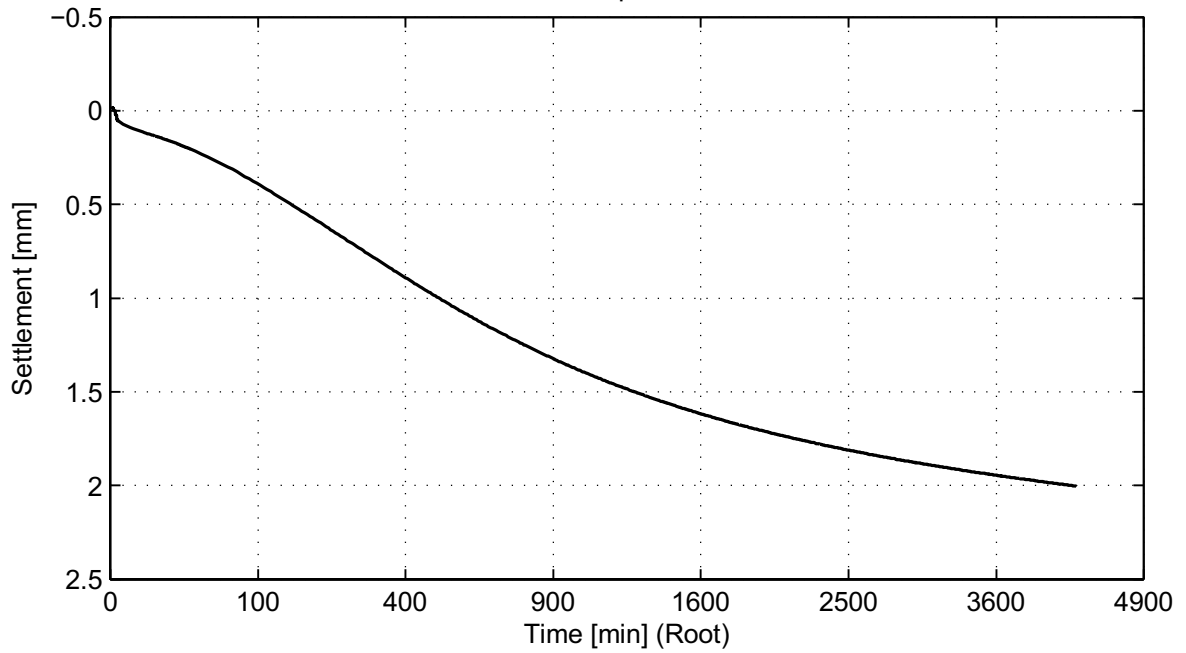
seen  
-  
page  
10

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:40



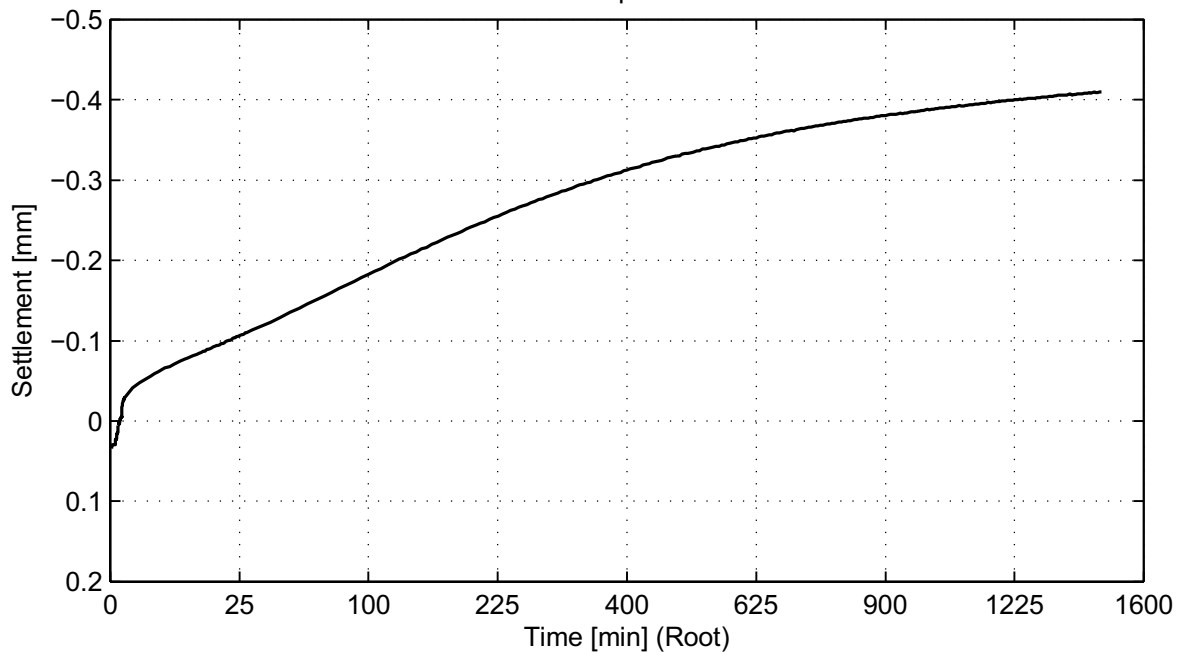
## Taylor method (page 3/4)

Load step 400 kPa



No calculation performed.

Load step 100 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 74A, depth -2.68 m till -2.72 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

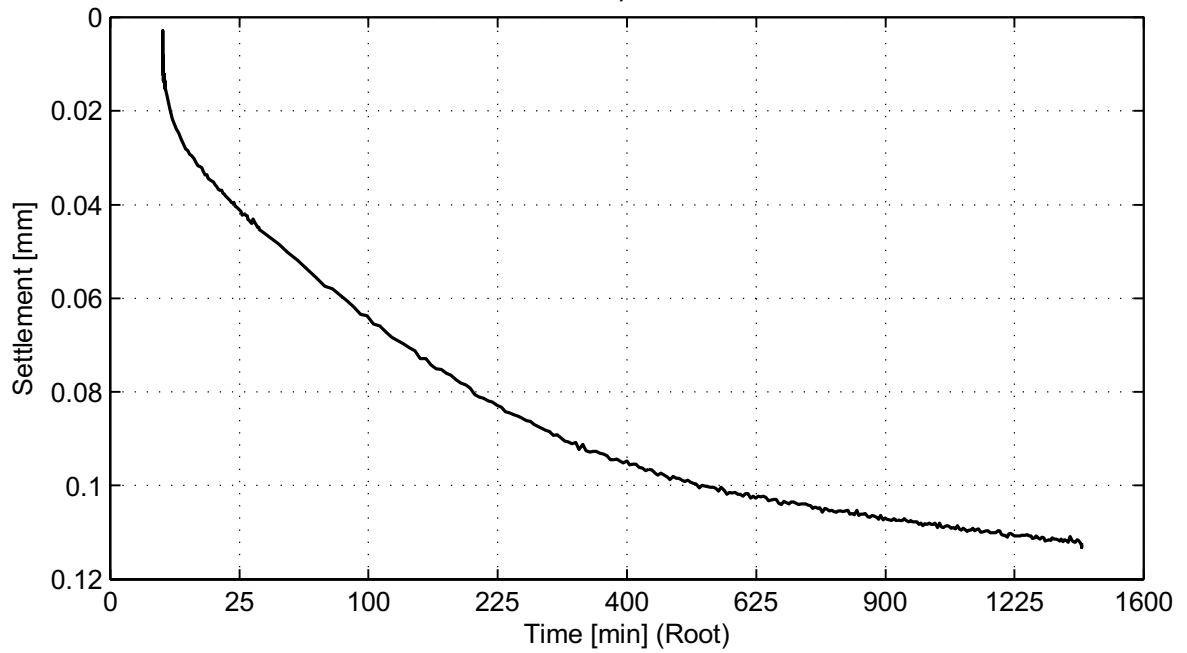
seen  
-

appendix  
SA74A

page  
11

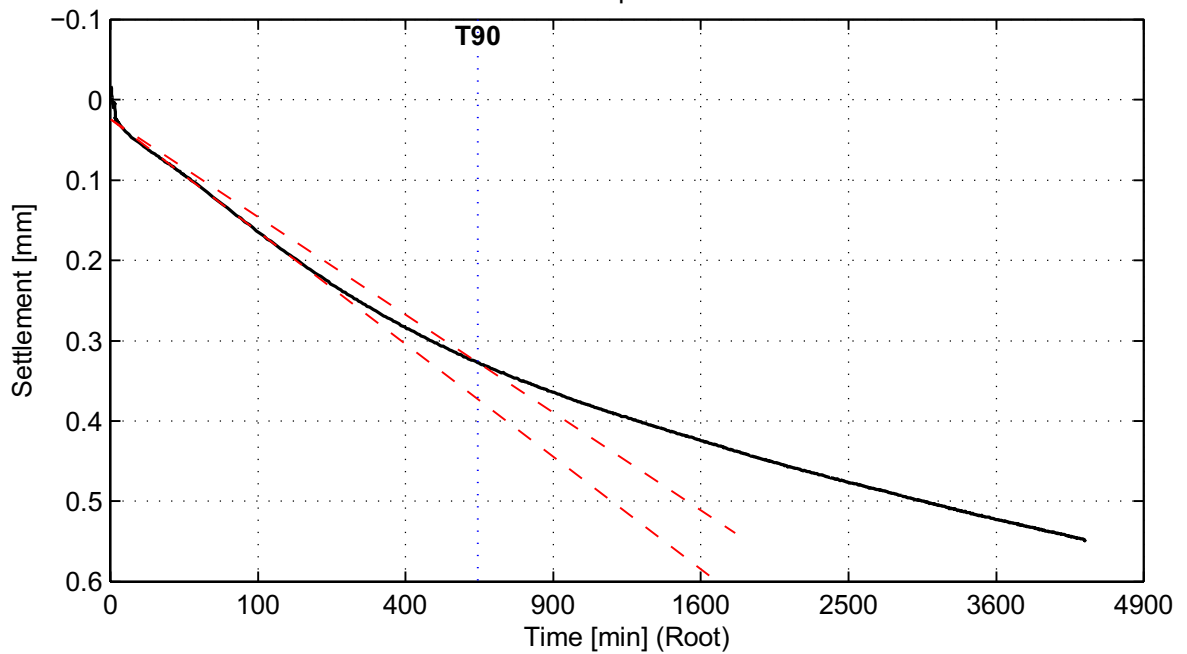
### Taylor method (page 4/4)

Load step 200 kPa



No calculation performed.

Load step 400 kPa



$C_v = 1.2e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-07

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 74A, depth -2.68 m till -2.72 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

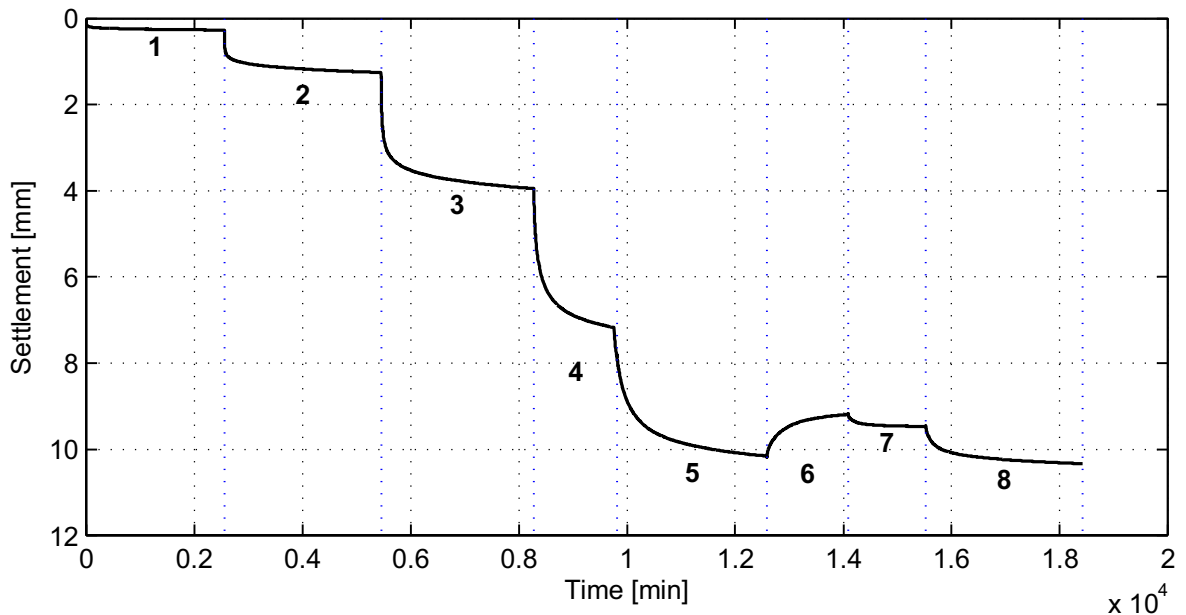
project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
SA74A

page  
12

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:40



### General soil and test parameters

Soil description (NEN 5104)	Vm
Initial volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	10.4
Initial volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	1.1
Volumetric weight particles [kN/m <sup>3</sup> ]	14.1
Initial water content [%]	870.3
Initial sample height [mm]	20
Initial sample diameter [mm]	63
Initial saturation [-]	1.0
Final volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	12.1
Final volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	3.6
Final water content [%]	237.7
Final saturation [-]	1.2
Type of test (wet/dry)	Wet
Visual disturbance sample	undisturbed
Startdate	2012-04-17
Enddate	2012-05-01
Sample disturbance index	7.1, bad
Lab temperature [° C]	20.1
Pc <sub>Becker</sub> [kPa]	11.8
Pc <sub>Janbu</sub> [kPa]	-

Load step number	Load [kPa]
1	4
2	9
3	30
4	80
5	180
6	30
7	80
8	180

#### References:

Isotachenparameters: CUR recommendation 101  
Pc Becker: Becker et al. (1987)  
Pc Janbu: Janbu (1969)  
Sample disturbance index: Lunne et al (2006)

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 105B, depth -2.21 m till -2.47 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

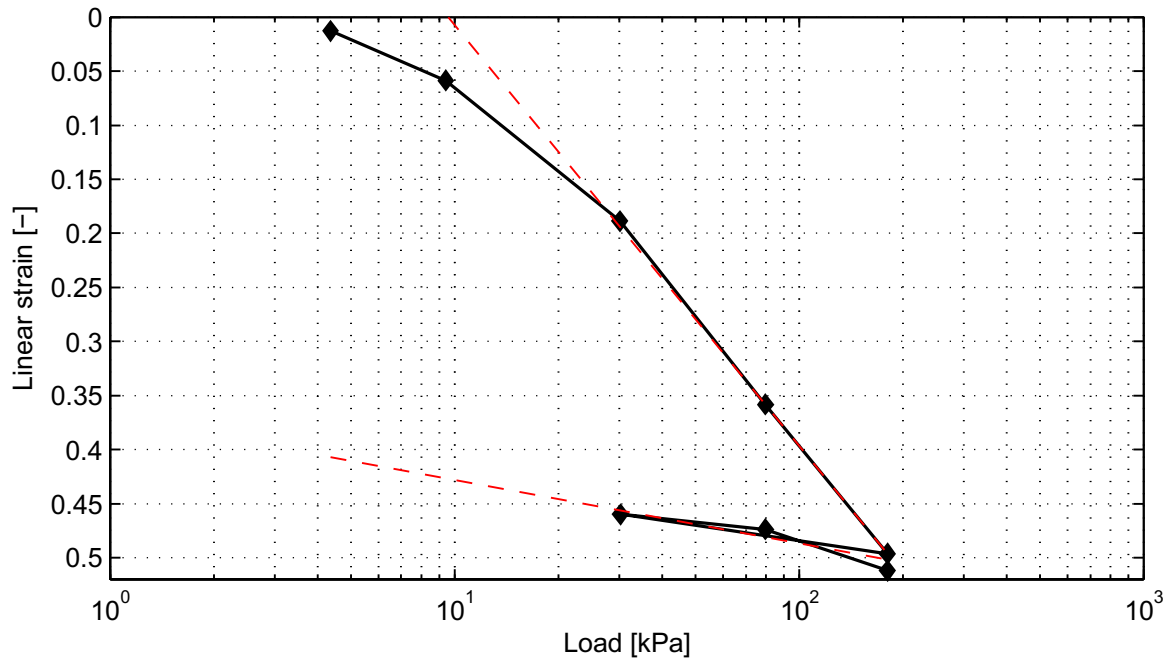
project  
1203768.18

appendix  
SA105B

seen  
-

page  
1

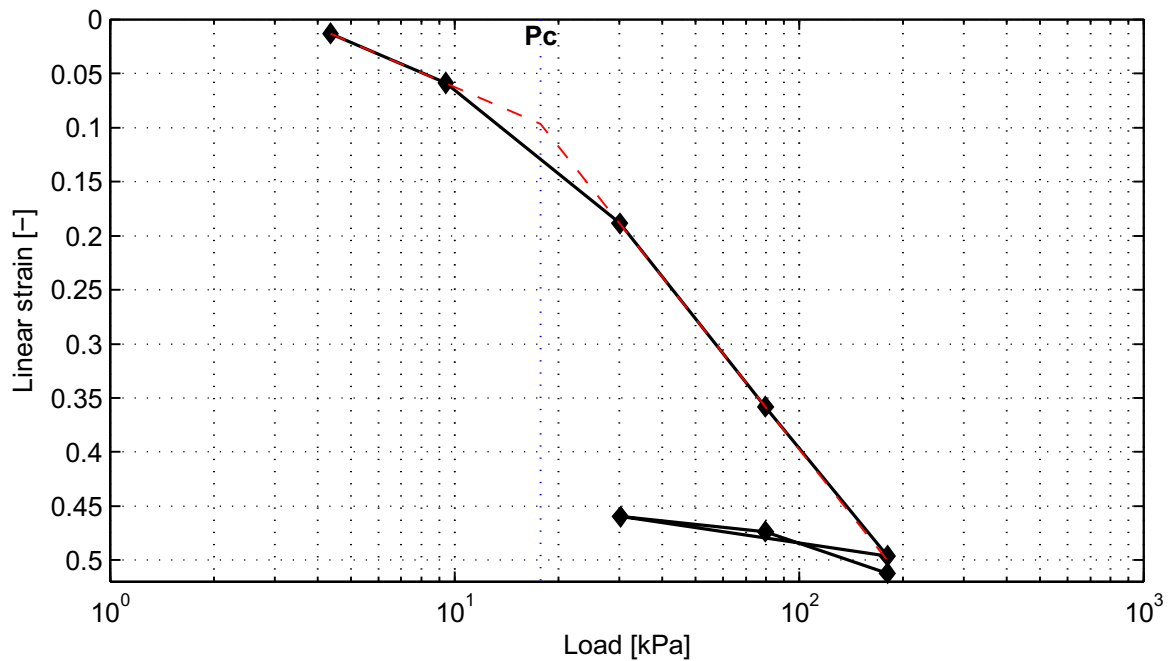
### NEN-Bjerrum method



RR = 5.9e-002  
CR = 3.9e-001

Ca = 4.9e-002

Vo = 13.15



Pc = 17.8 kPa

**Deltares**

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

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

date  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 105B, depth -2.21 m till -2.47 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

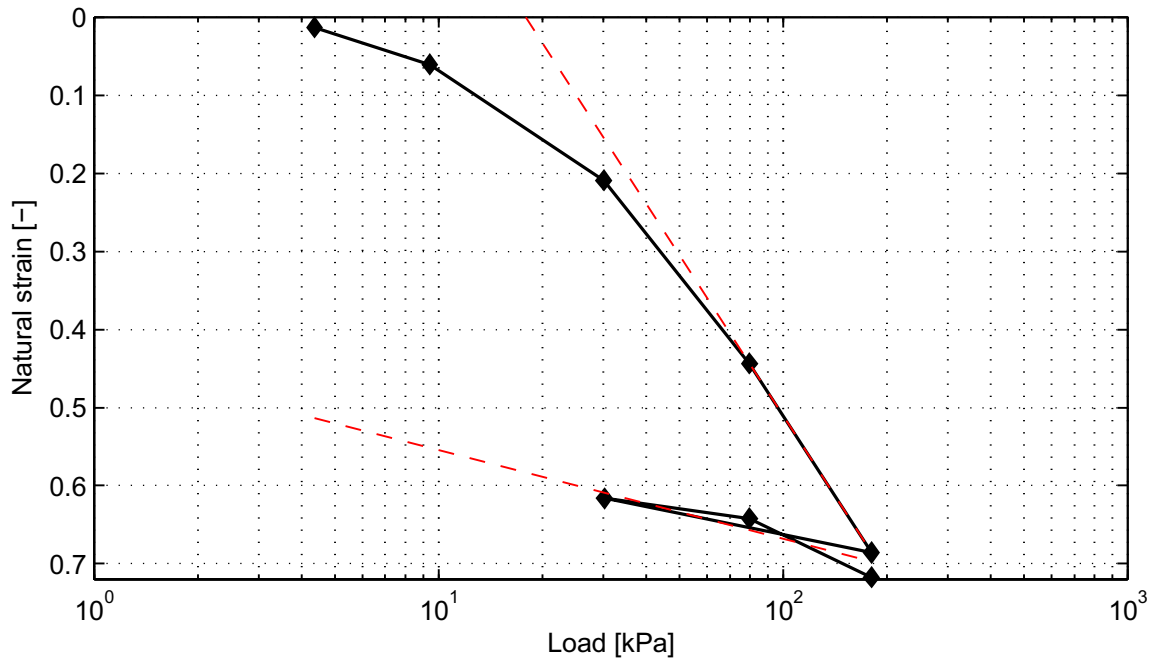
Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA105B

page  
2

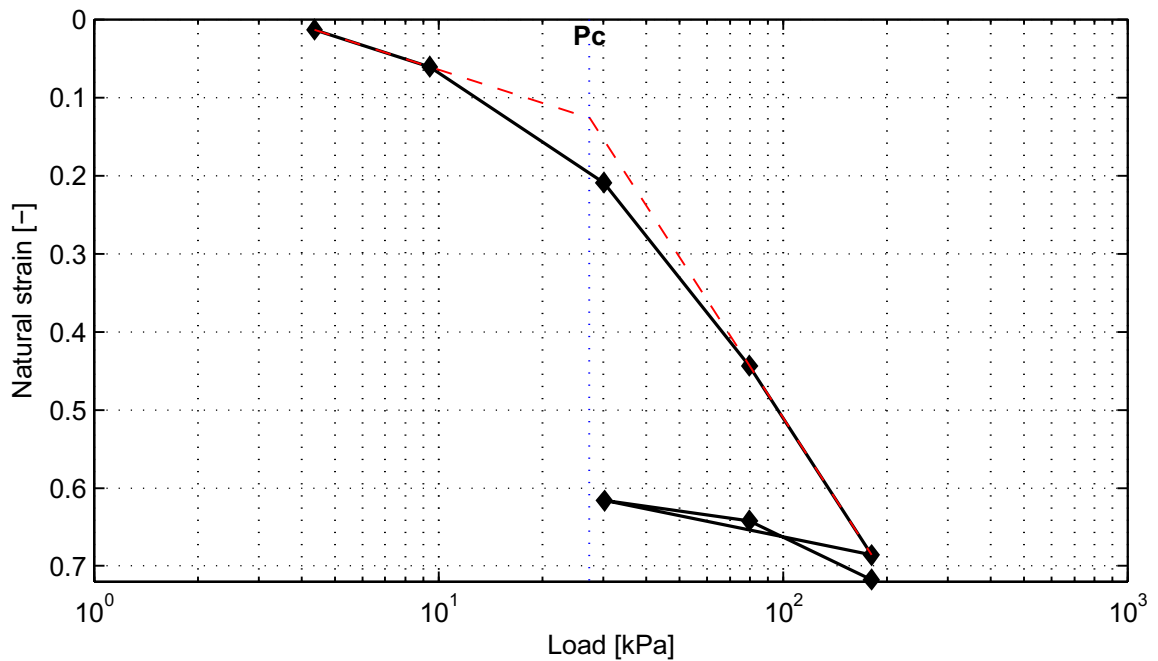
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:45

### Isotachen method



A = 4.9e-002  
B = 3.0e-001

C = 2.6e-002



Pc = 27.4 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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 105B, depth -2.21 m till -2.47 m NAP

project  
1203768.18

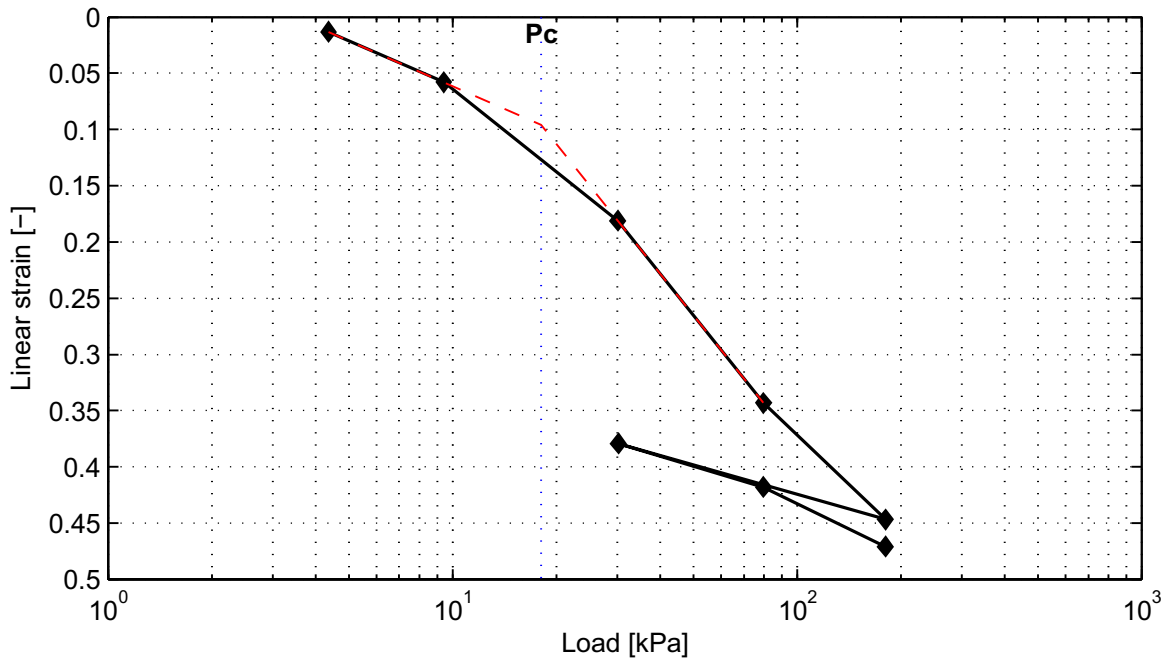
seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA105B

page  
3

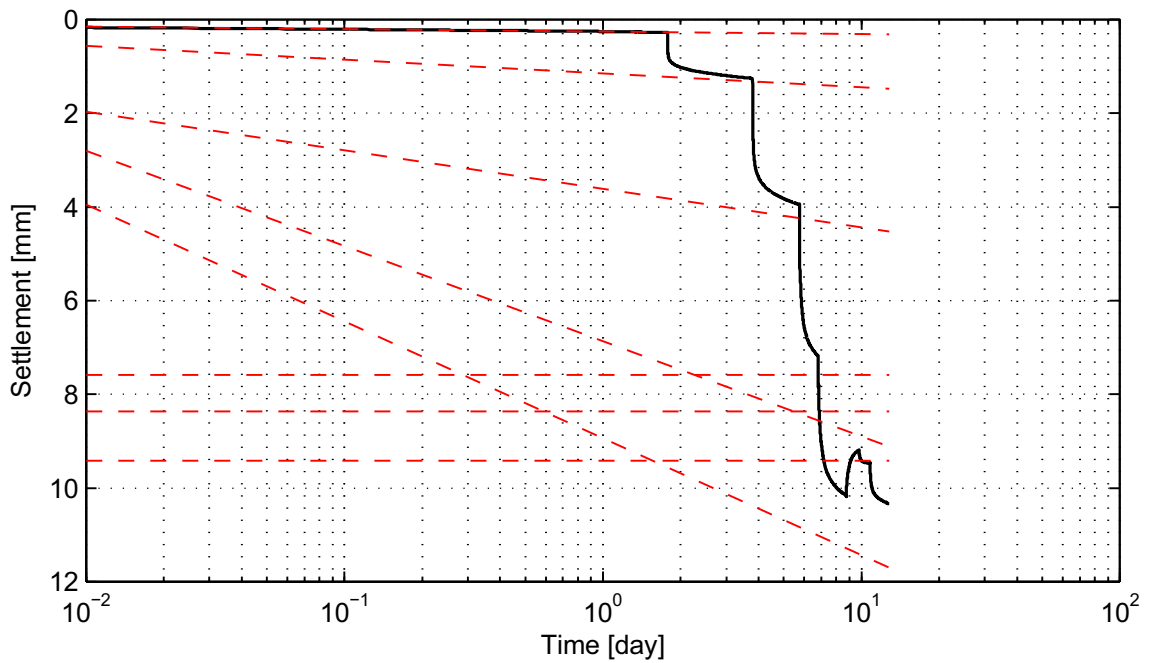
### Koppejan method



$C_p = 1.7e+001$   
 $C_{p'} = 6.0e+000$

$C_s = 6.4e+001$   
 $C_{s'} = 1.6e+001$

$C = 8.3e+000$   
 $C' = 2.4e+000$   
 $P_{c'} = 18.1 \text{ kPa}$



$C_p = 1.7e+001$   
 $C_{p'} = 6.0e+000$

$C_s = 6.4e+001$   
 $C_{s'} = 1.6e+001$

$C = 8.3e+000$   
 $C' = 2.4e+000$   
 $P_{c'} = 18.1 \text{ kPa}$

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 105B, depth -2.21 m till -2.47 m NAP

project  
 1203768.18

seen  
 -

Oedometer test conform NEN 5118

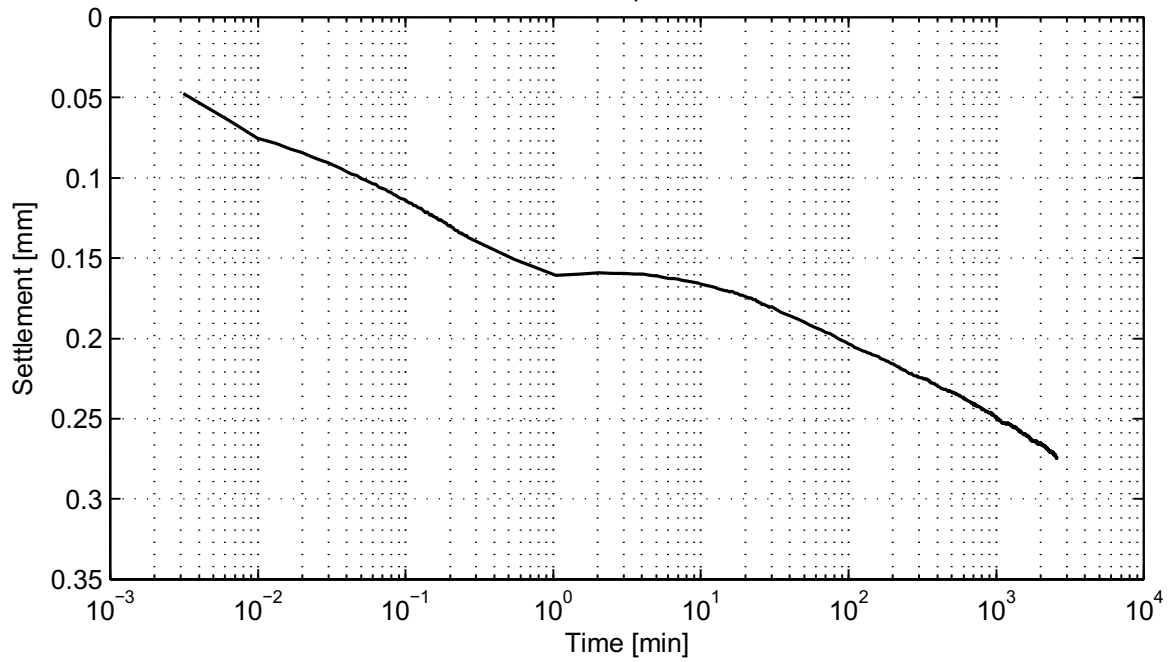
appendix  
 SA105B

page  
 4

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:45

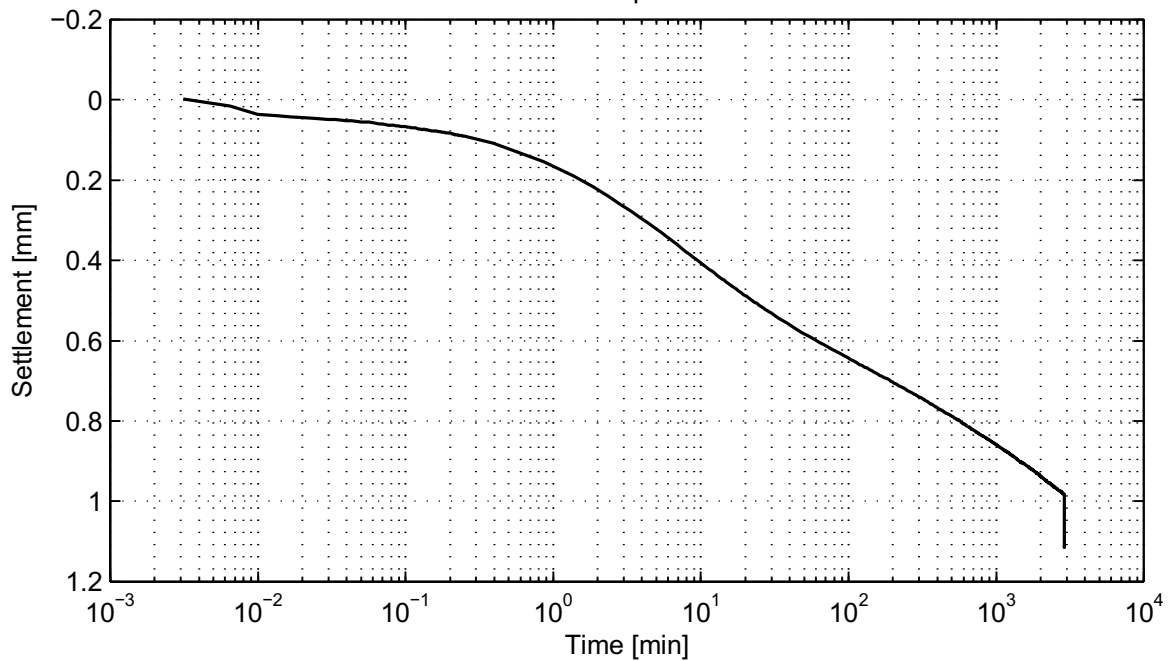
## Casagrande method (page 1/4)

Load step 4 kPa



No calculation performed.

Load step 9 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 105B, depth -2.21 m till -2.47 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

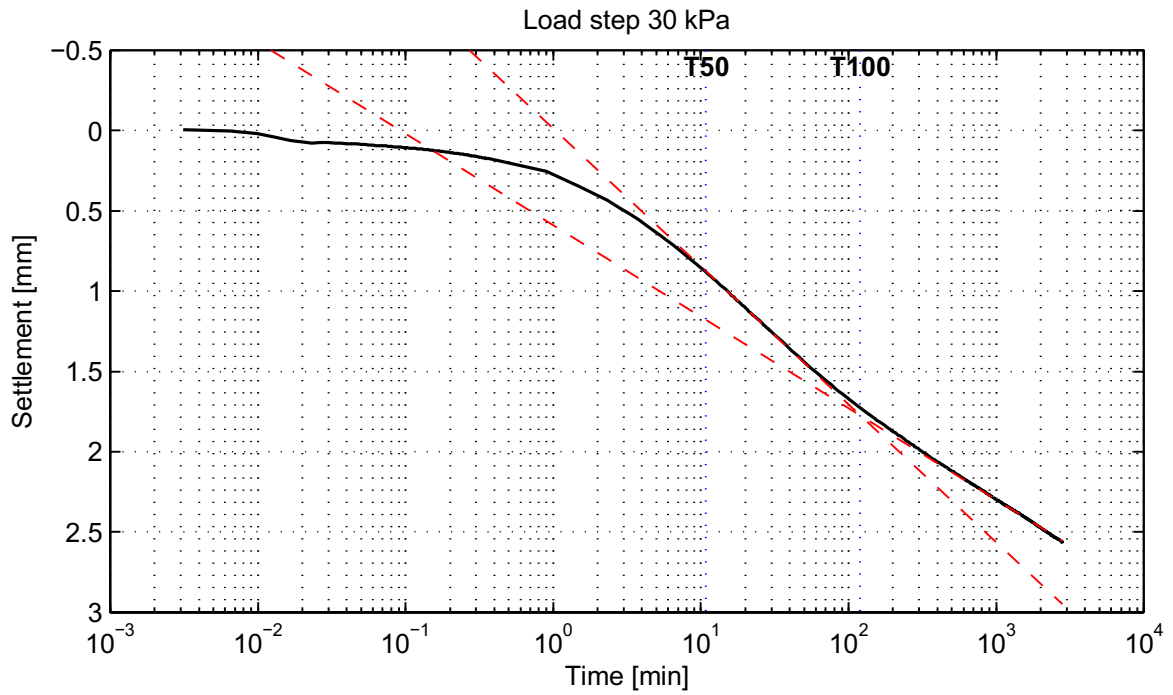
seen  
-

appendix  
SA105B

page  
5

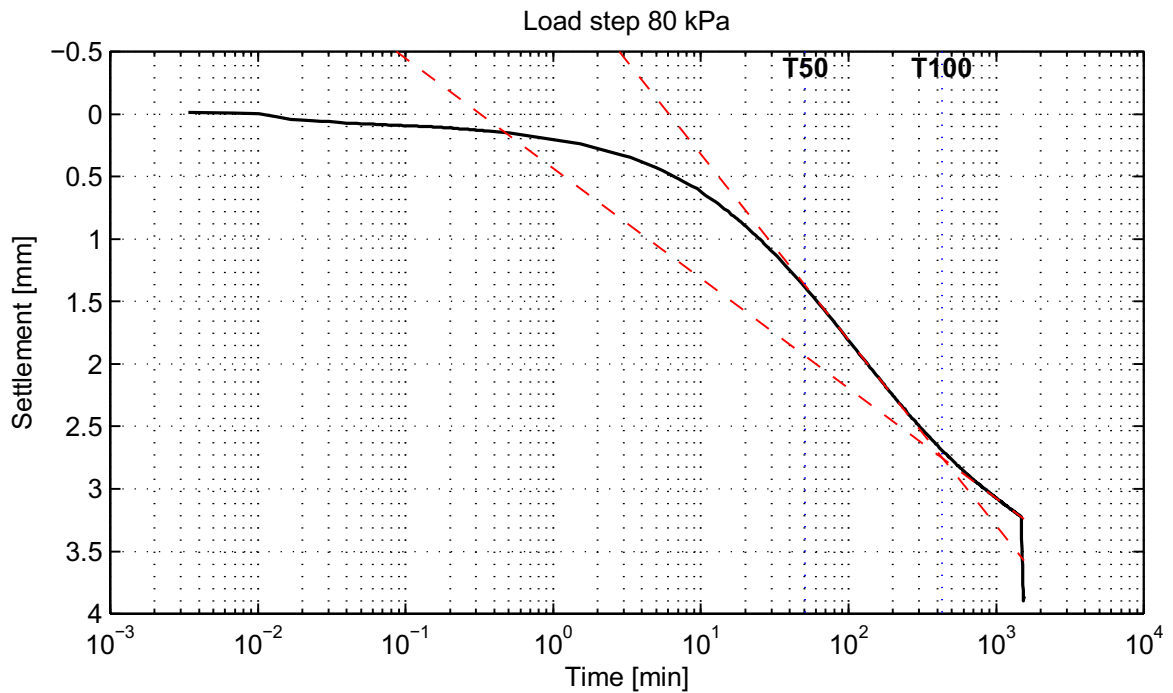
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:45

## Casagrande method (page 2/4)



$C_v = 1.8e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $Ca = 3.1e-002$

$M_v = 4.6e-003 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 8.3e-010 \text{ m/s}$



$C_v = 2.7e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $Ca = 5.5e-002$

$M_v = 3.4e-003 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 9.0e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 105B, depth -2.21 m till -2.47 m NAP

project  
 1203768.18

seen  
 -

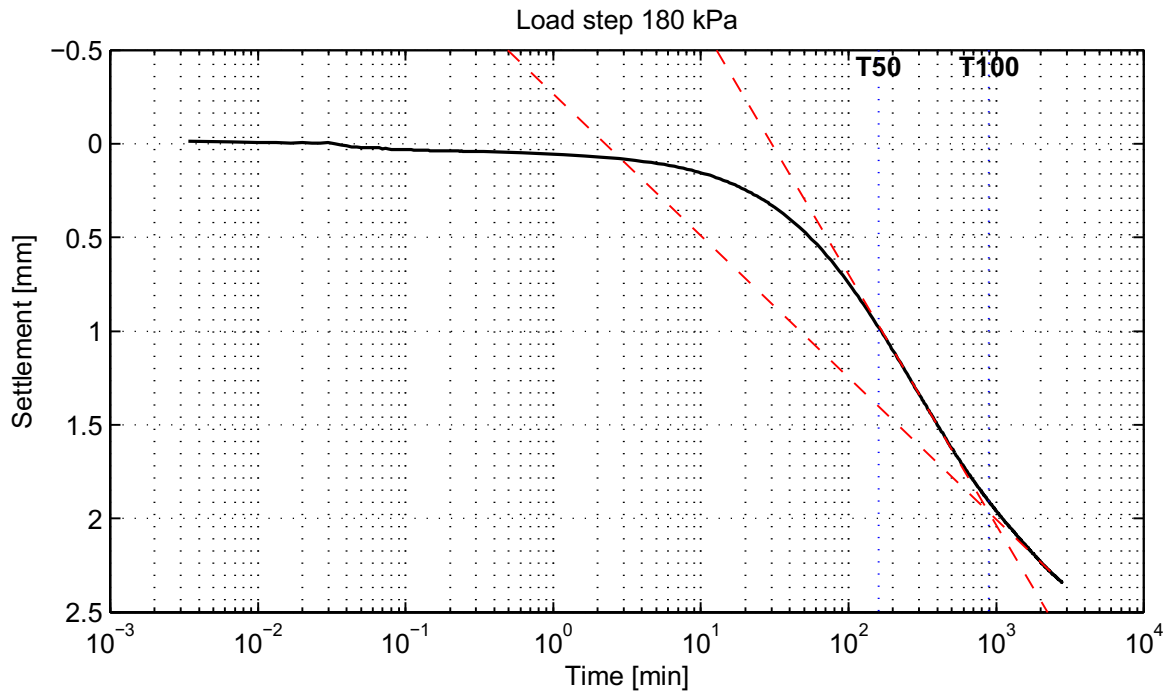
Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
 SA105B

page  
 6

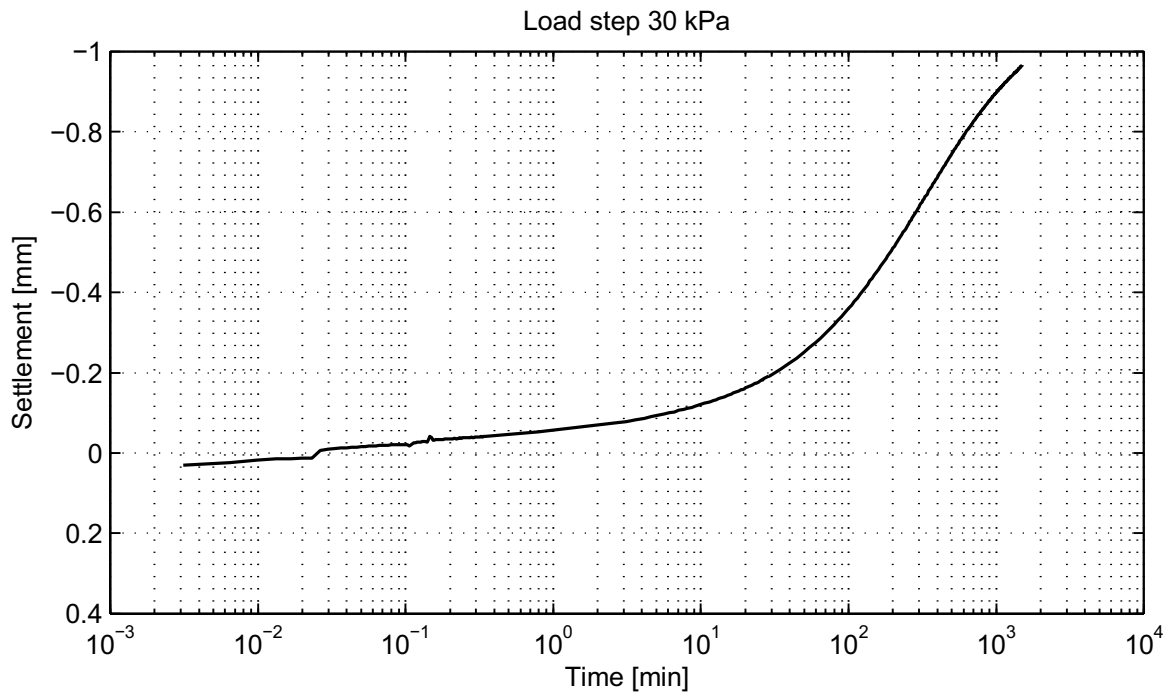


### Casagrande method (page 3/4)



$C_v = 5.0e-010 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 6.2e-002$

$M_v = 1.6e-003 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 7.9e-012 \text{ m/s}$



No calculation performed.

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 105B, depth -2.21 m till -2.47 m NAP

project  
 1203768.18

seen  
 -

Oedometer test conform NEN 5118

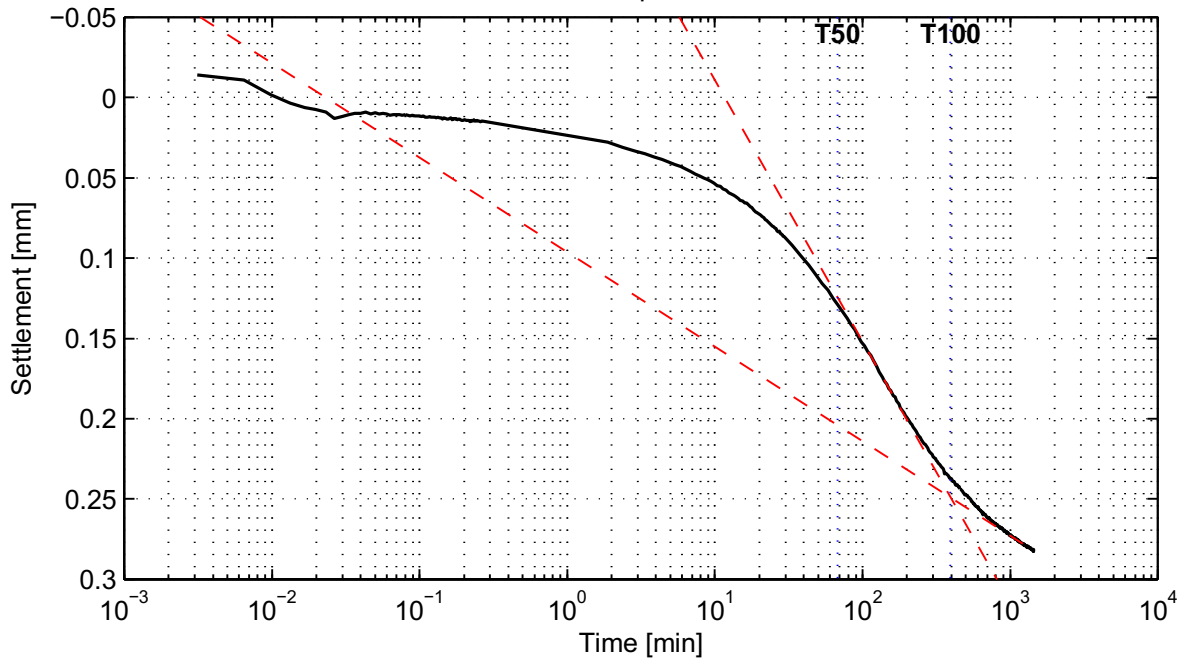
appendix  
 SA105B

page  
 7

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:45

### Casagrande method (page 4/4)

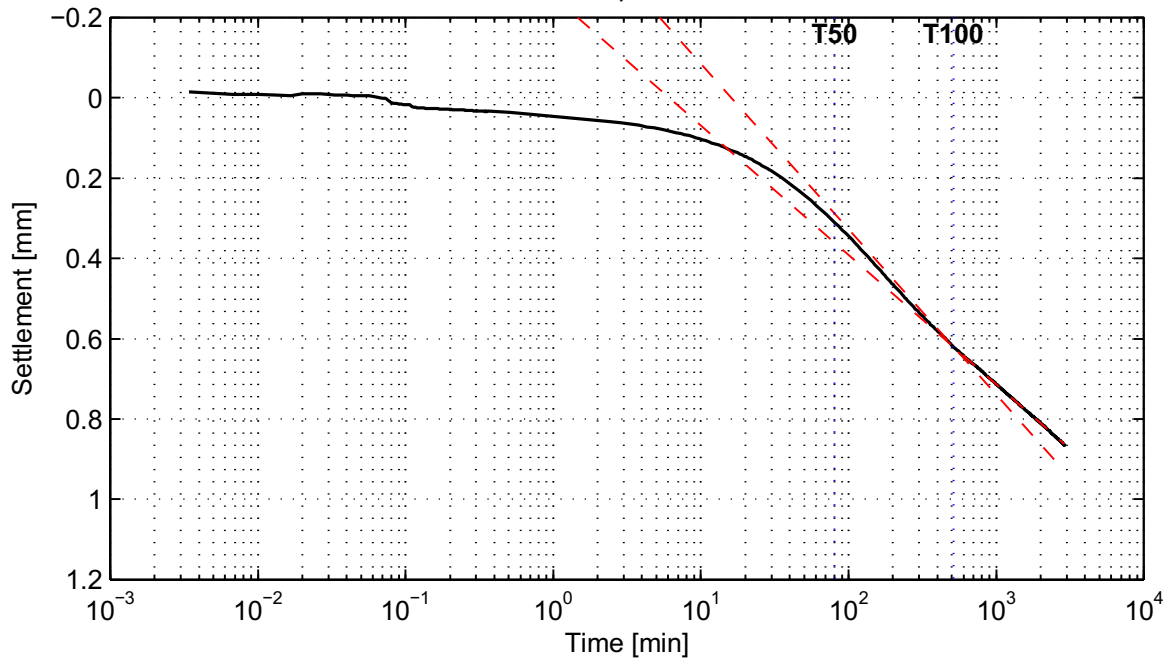
Load step 80 kPa



$C_v = 1.1e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 4.5e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 4.7e-012 \text{ m/s}$

Load step 180 kPa



$C_v = 8.2e-010 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 5.9e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 4.7e-012 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 105B, depth -2.21 m till -2.47 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

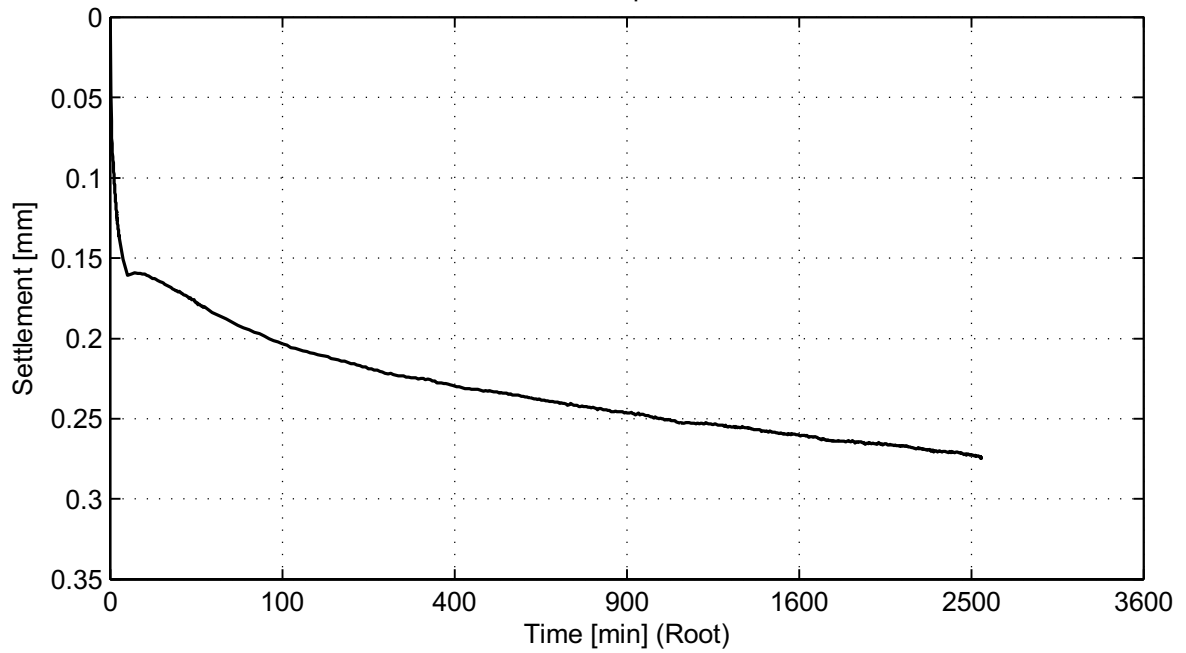
appendix  
 SA105B

seen  
 -

page  
 8

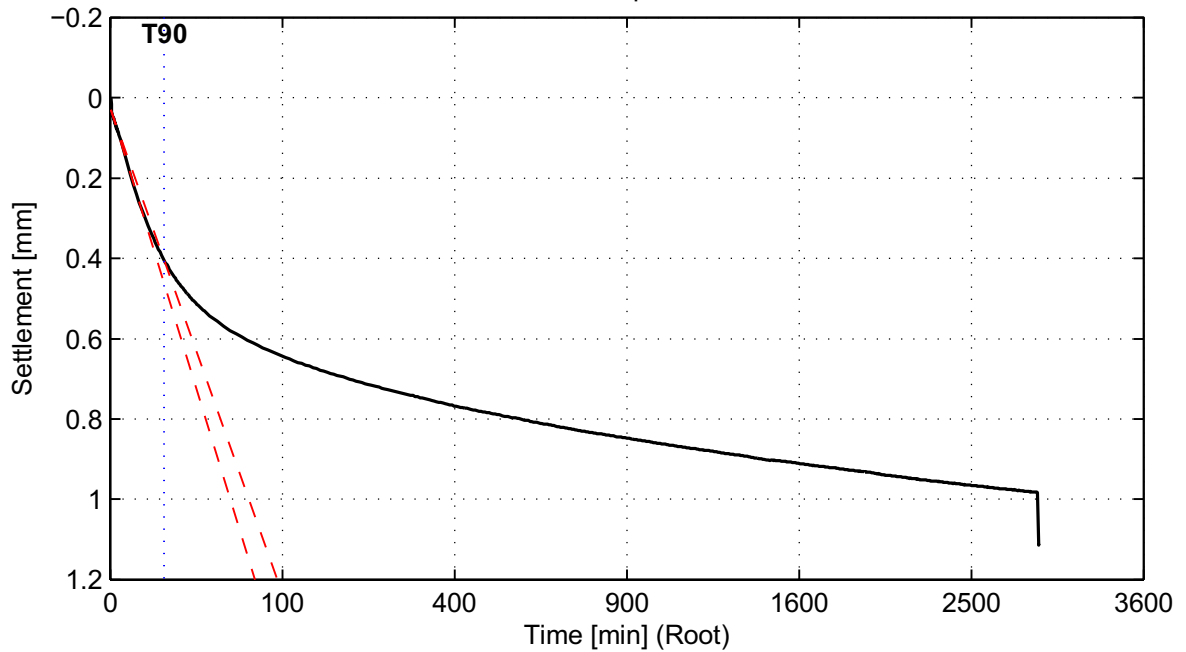
## Taylor method (page 1/4)

Load step 4 kPa



No calculation performed.

Load step 9 kPa



$C_v = 1.0e-007 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 105B, depth -2.21 m till -2.47 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

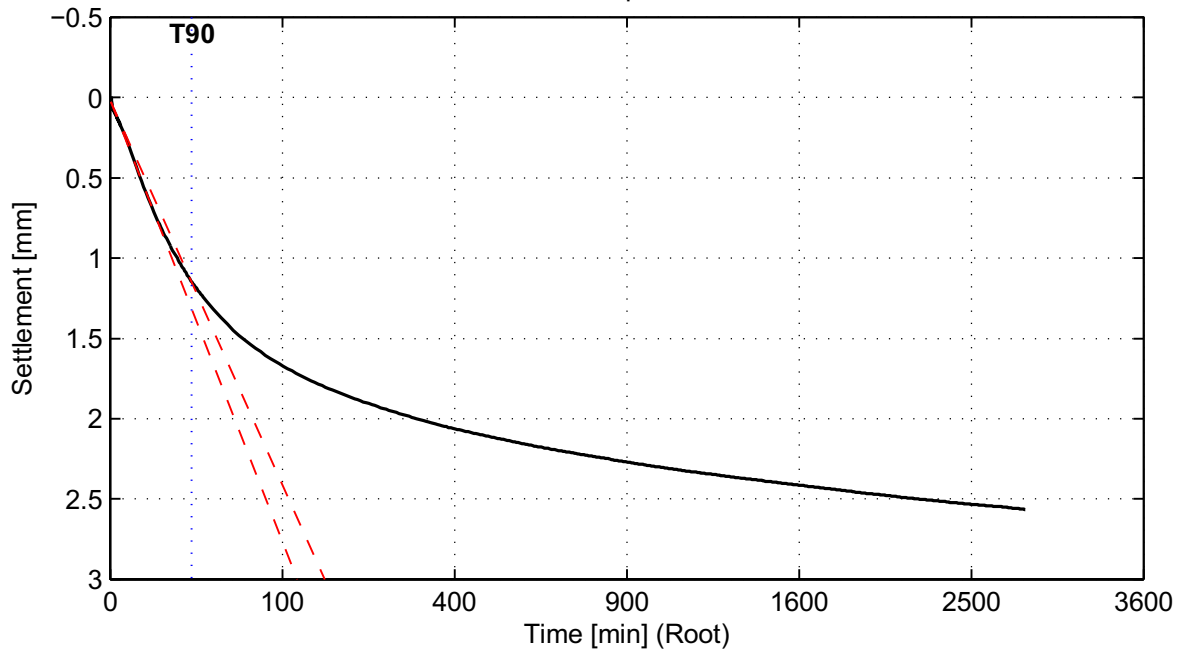
appendix  
SA105B

page  
9

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:45

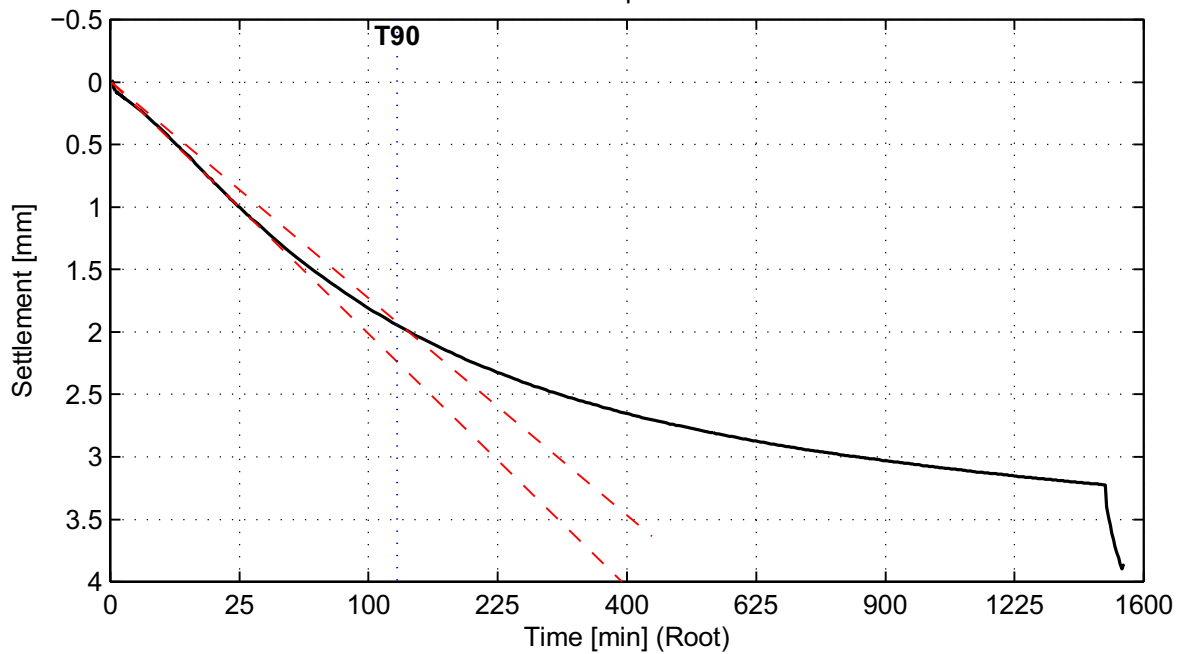
## Taylor method (page 2/4)

Load step 30 kPa



$C_v = 3.7 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 80 kPa



$C_v = 4.4 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 105B, depth -2.21 m till -2.47 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

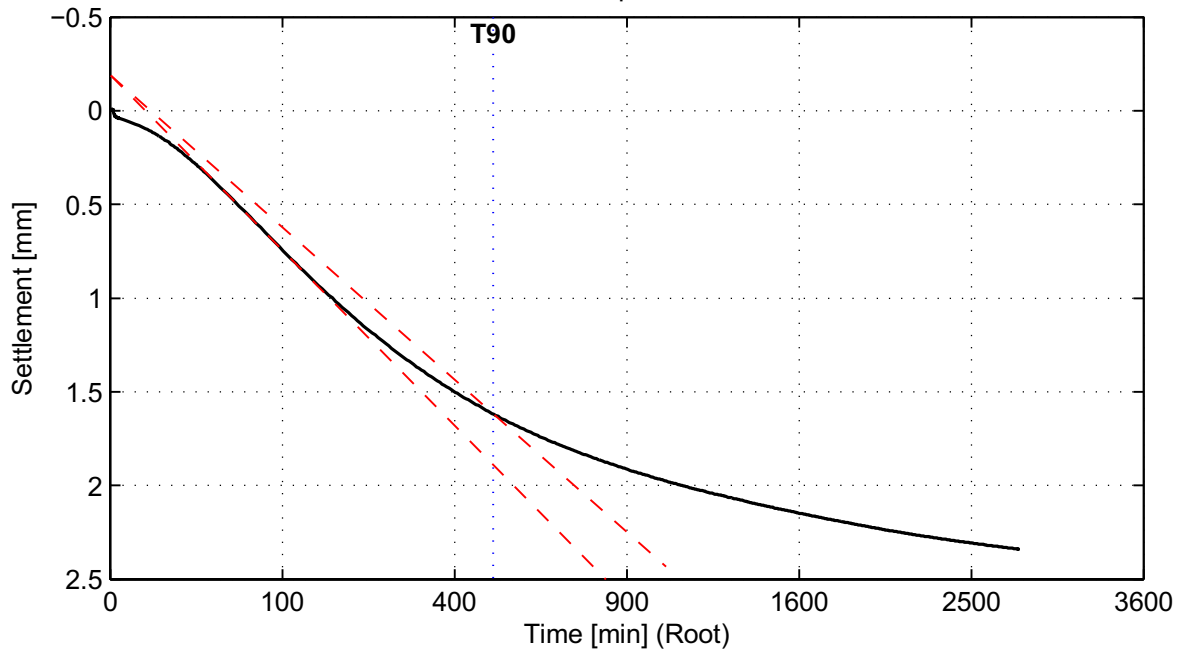
appendix  
SA105B

page  
10

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:45

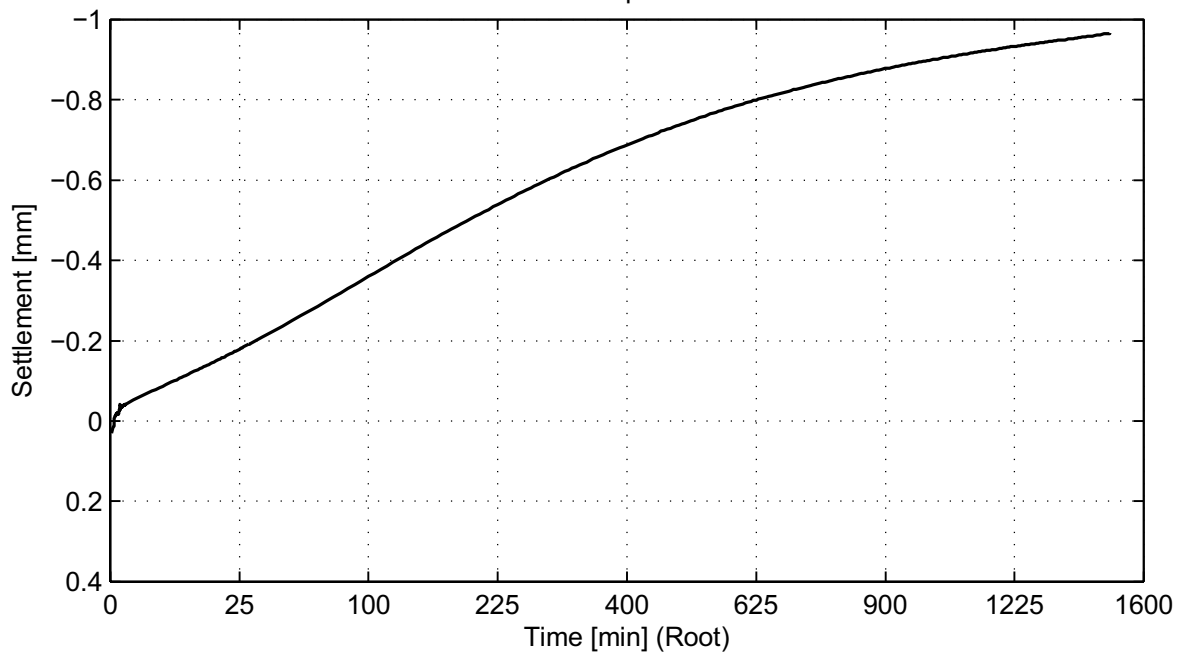
### Taylor method (page 3/4)

Load step 180 kPa



$C_v = 6.2e-010 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 30 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 105B, depth -2.21 m till -2.47 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

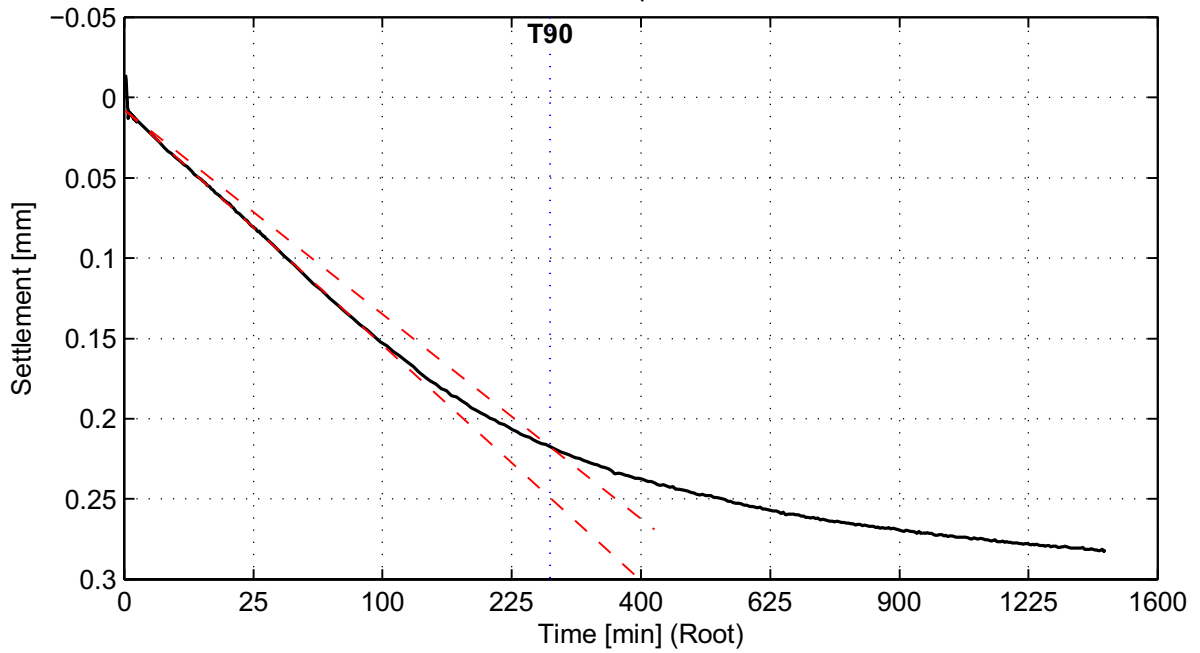
appendix  
SA105B

seen  
-

page  
11

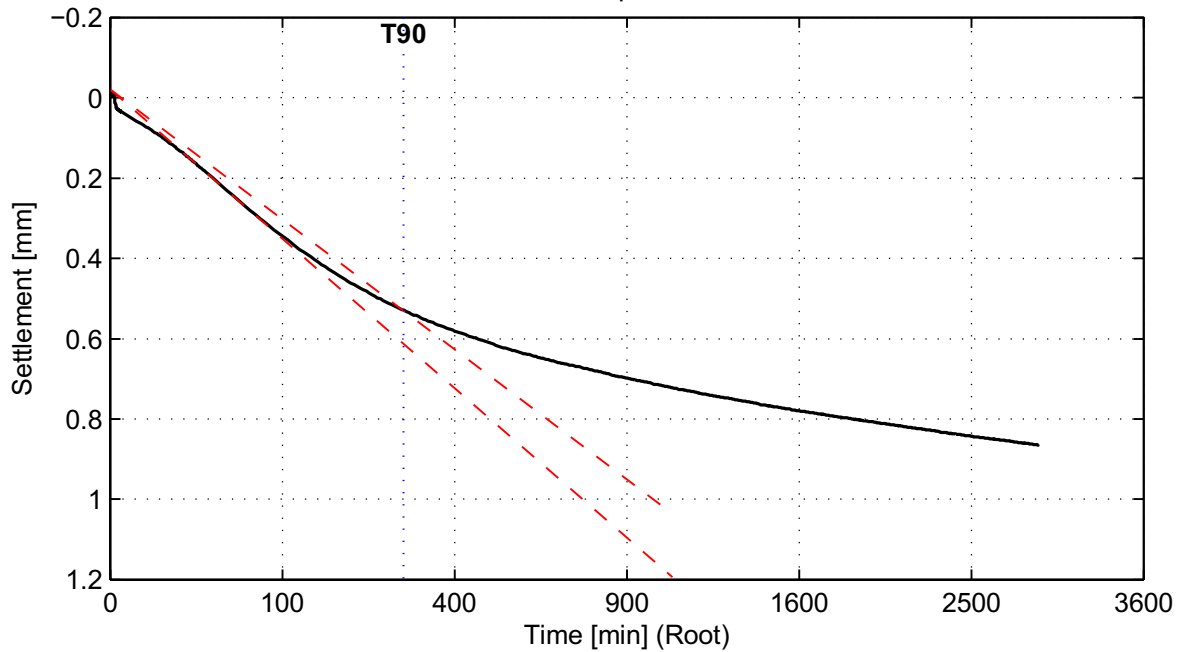
## Taylor method (page 4/4)

Load step 80 kPa



$C_v = 1.1e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 180 kPa



$C_v = 9.4e-010 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 105B, depth -2.21 m till -2.47 m NAP

project  
1203768.18

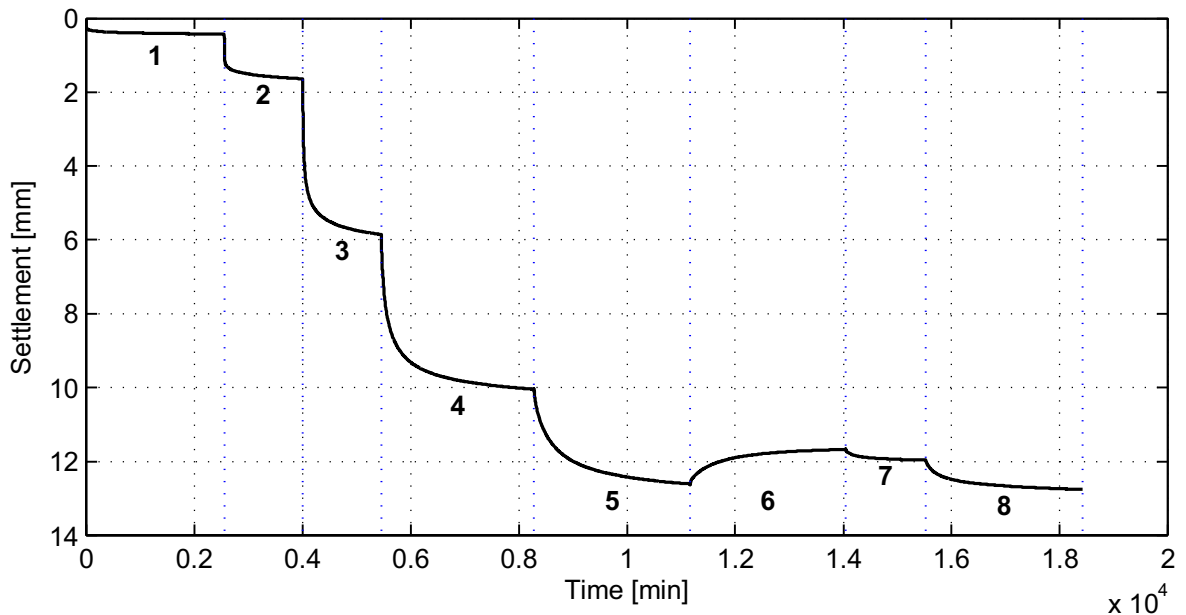
seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA105B

page  
12

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:45



### General soil and test parameters

Soil description (NEN 5104)	Vm
Initial volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	9.9
Initial volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	1.8
Volumetric weight particles [kN/m <sup>3</sup> ]	17.4
Initial water content [%]	441.1
Initial sample height [mm]	20
Initial sample diameter [mm]	63
Initial saturation [-]	0.9
Final volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	11.6
Final volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	2.7
Final water content [%]	335.9
Final saturation [-]	1.1
Type of test (wet/dry)	Wet
Visual disturbance sample	undisturbed
Startdate	2012-04-17
Enddate	2012-05-01
Sample disturbance index	10.3, bad
Lab temperature [° C]	20.1
Pc <sub>Becker</sub> [kPa]	7.5
Pc <sub>Janbu</sub> [kPa]	-

Load step number	Load [kPa]
1	4
2	9
3	30
4	79
5	180
6	30
7	79
8	180

References:  
 Isotachenparameters: CUR recommendation 101  
 Pc Becker: Becker et al. (1987)  
 Pc Janbu: Janbu (1969)  
 Sample disturbance index: Lunne et al (2006)

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 108C, depth -4.89 m till -5.09 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

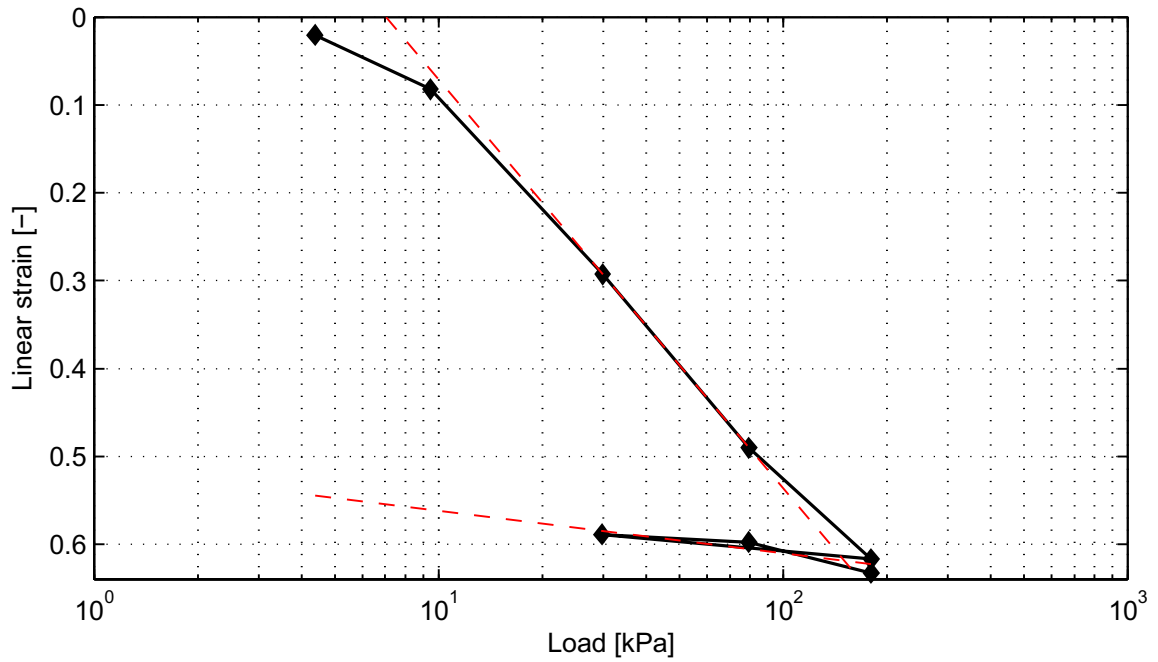
project  
 1203768.18

appendix  
 SA108C

seen  
 -

page  
 1

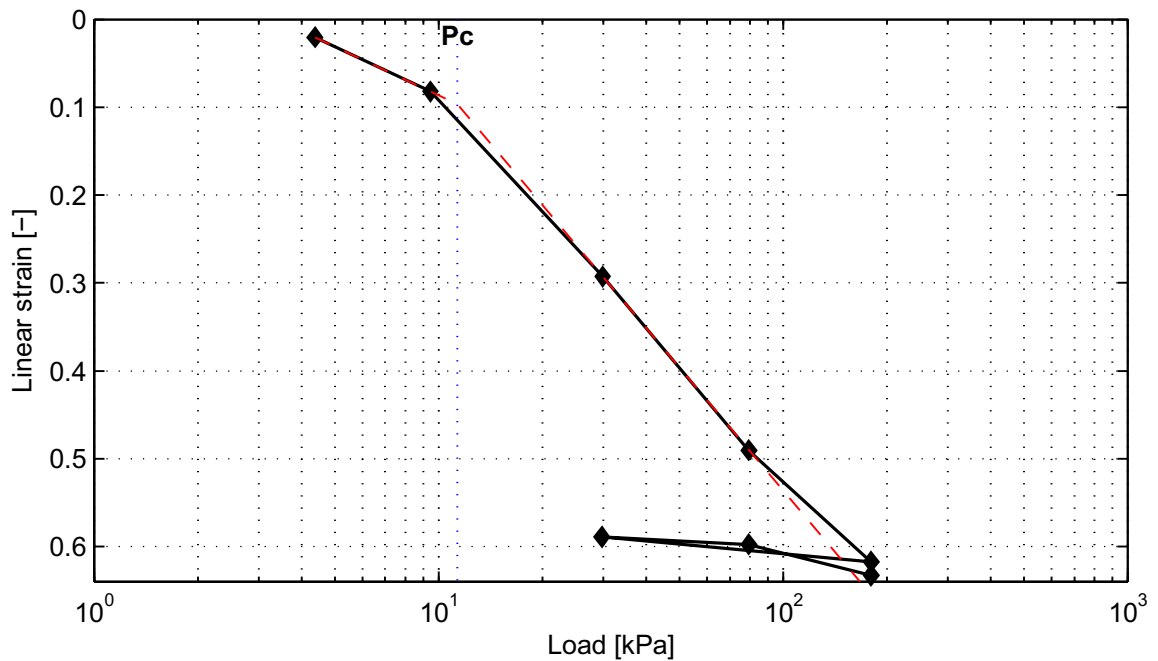
### NEN-Bjerrum method



RR = 4.8e-002  
CR = 4.7e-001

Ca = 5.8e-002

Vo = 9.50



Pc = 11.3 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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 108C, depth -4.89 m till -5.09 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

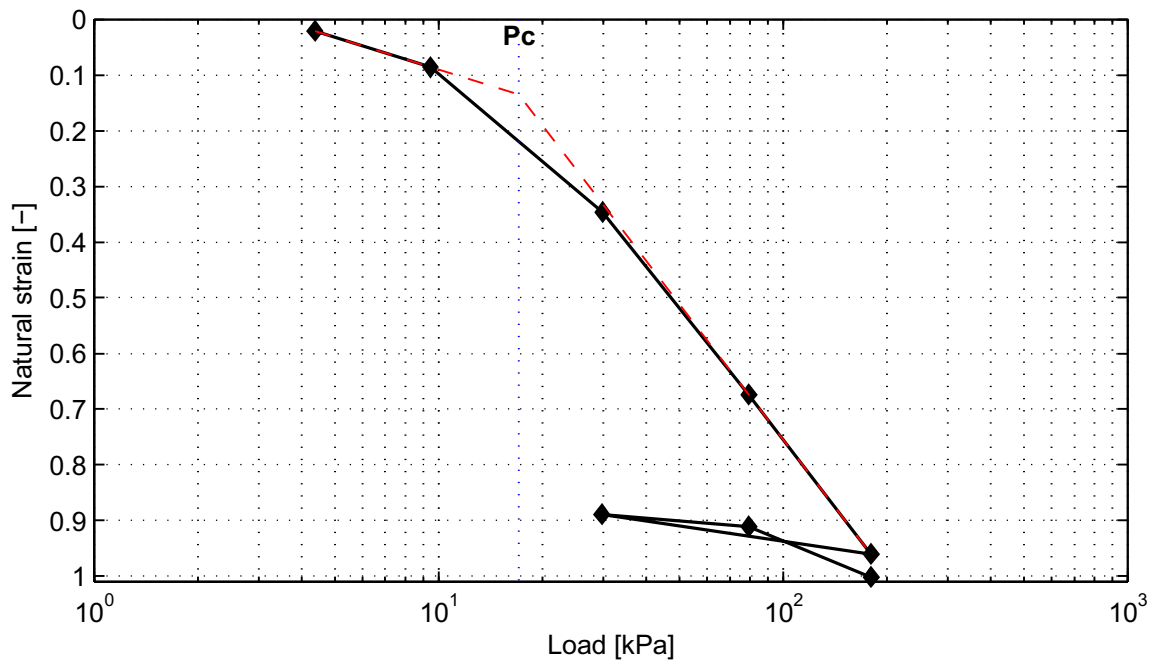
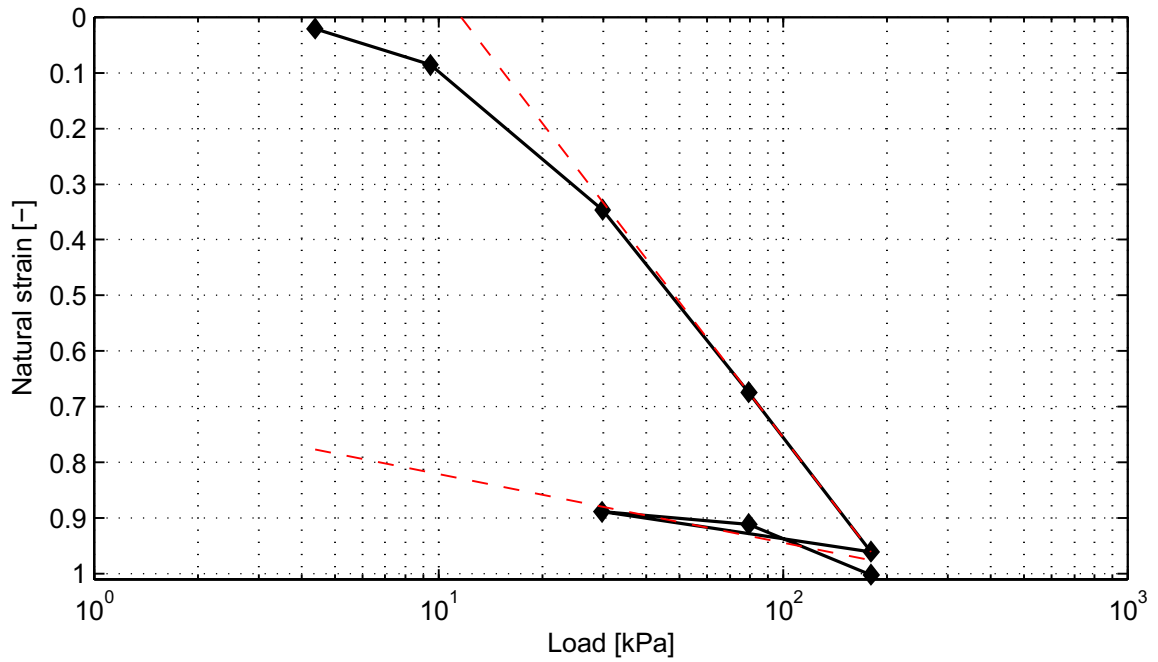
Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA108C

page  
2



### Isotachen method



**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  
2012-05-04

signed  
ess

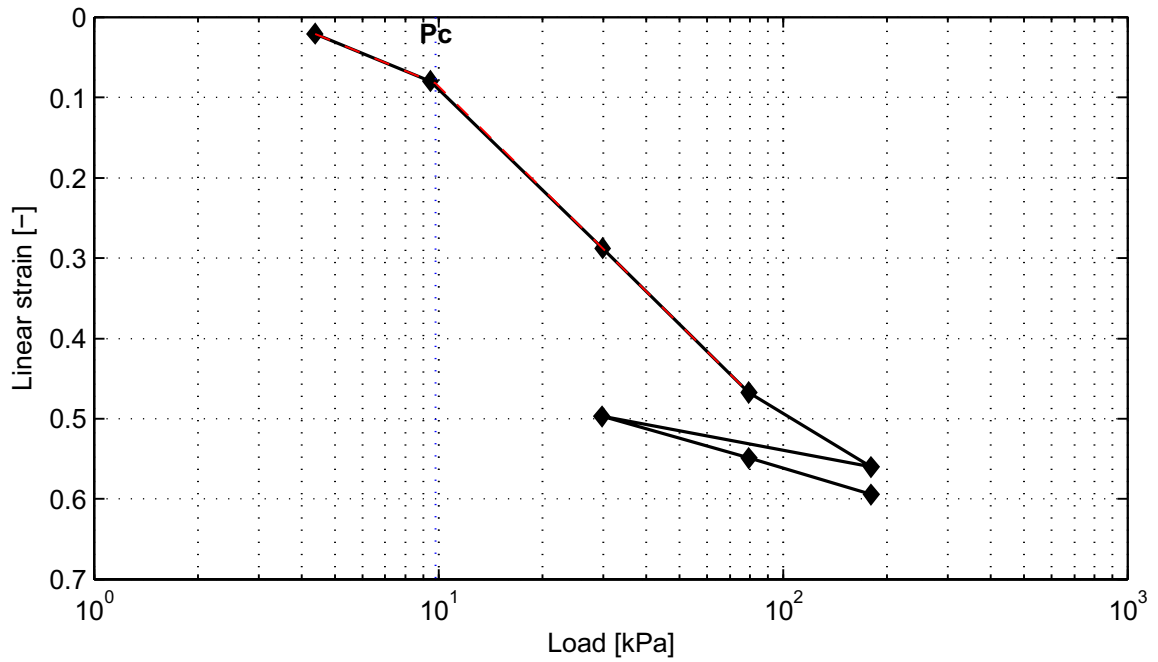
Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 108C, depth -4.89 m till -5.09 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18  
appendix  
SA108C

seen  
-  
page  
3

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:43

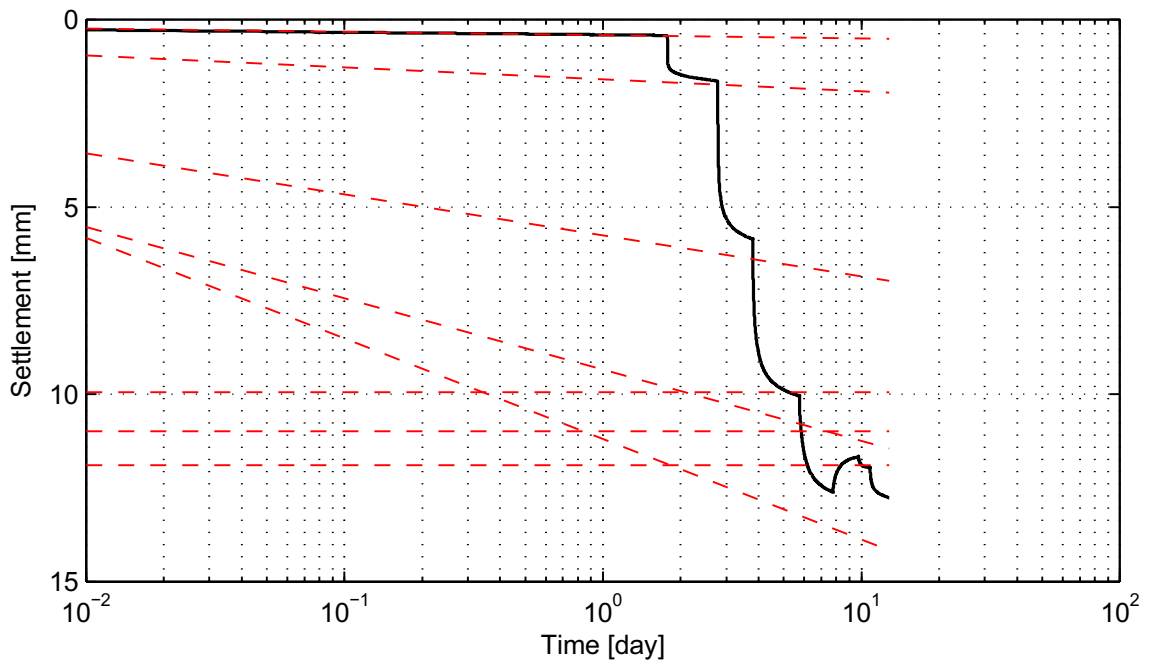
### Koppejan method



Cp = 1.3e+001  
Cp' = 5.4e+000

Cs = 6.6e+001  
Cs' = 2.4e+001

C = 7.3e+000  
C' = 2.9e+000  
Pc' = 9.8 kPa



Cp = 1.3e+001  
Cp' = 5.4e+000

Cs = 6.6e+001  
Cs' = 2.4e+001

C = 7.3e+000  
C' = 2.9e+000  
Pc' = 9.8 kPa

**Deltares**

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

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

date  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 108C, depth -4.89 m till -5.09 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

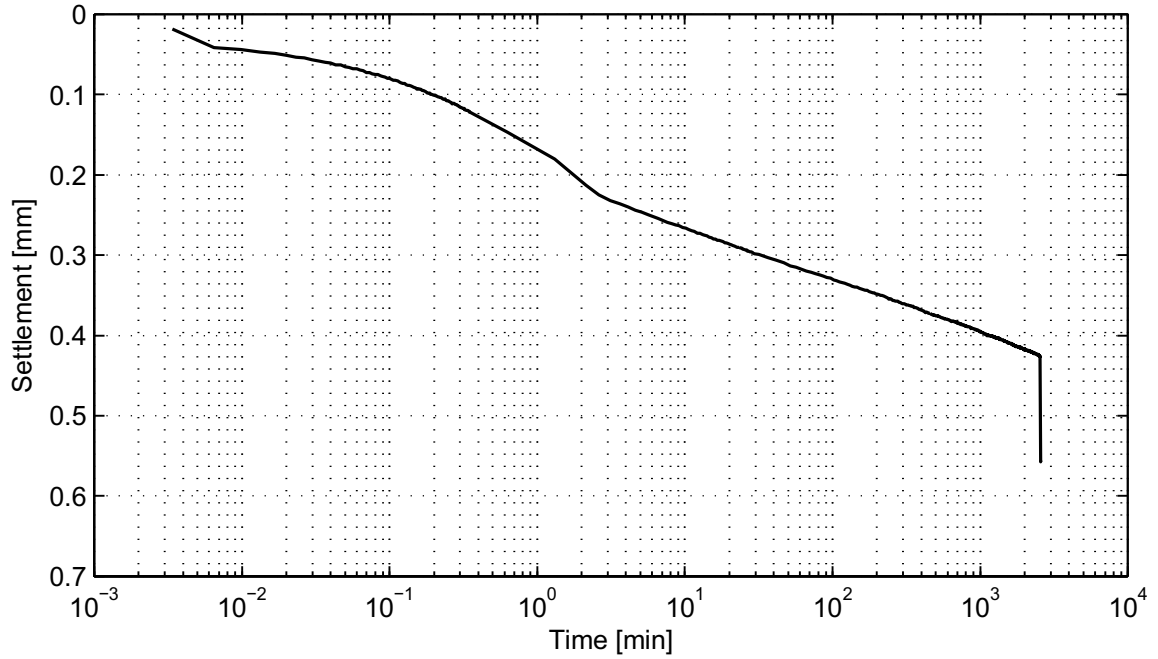
appendix  
SA108C

page  
4

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:43

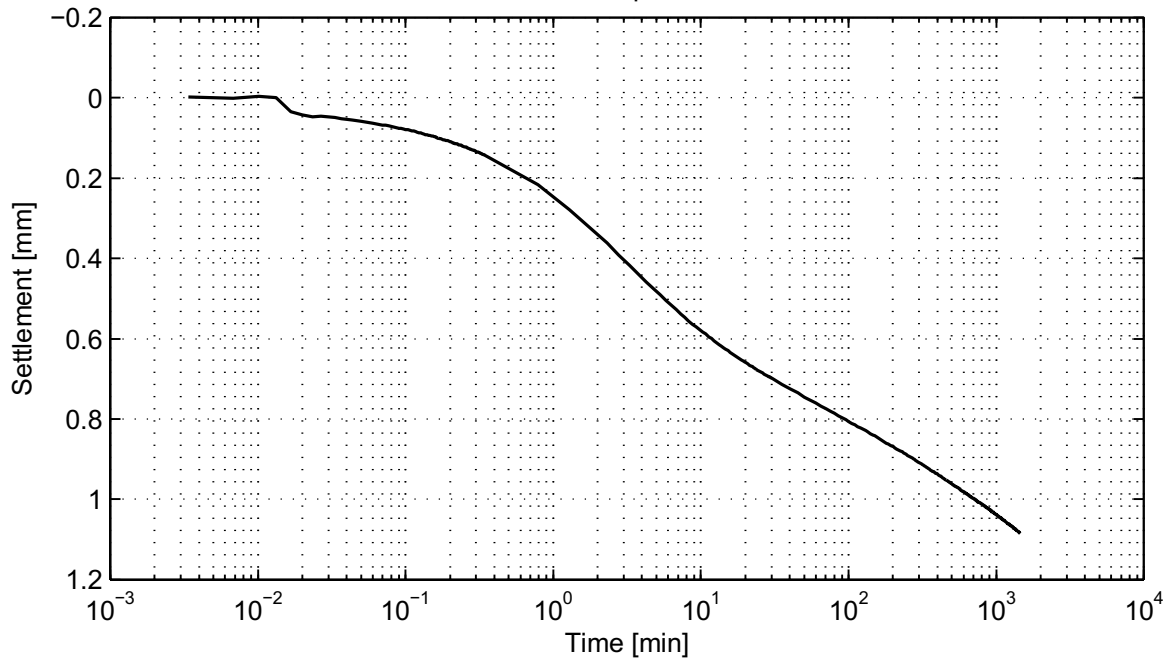
## Casagrande method (page 1/4)

Load step 4 kPa



No calculation performed.

Load step 9 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 108C, depth -4.89 m till -5.09 m NAP  
Oedometer test conform NEN 5118

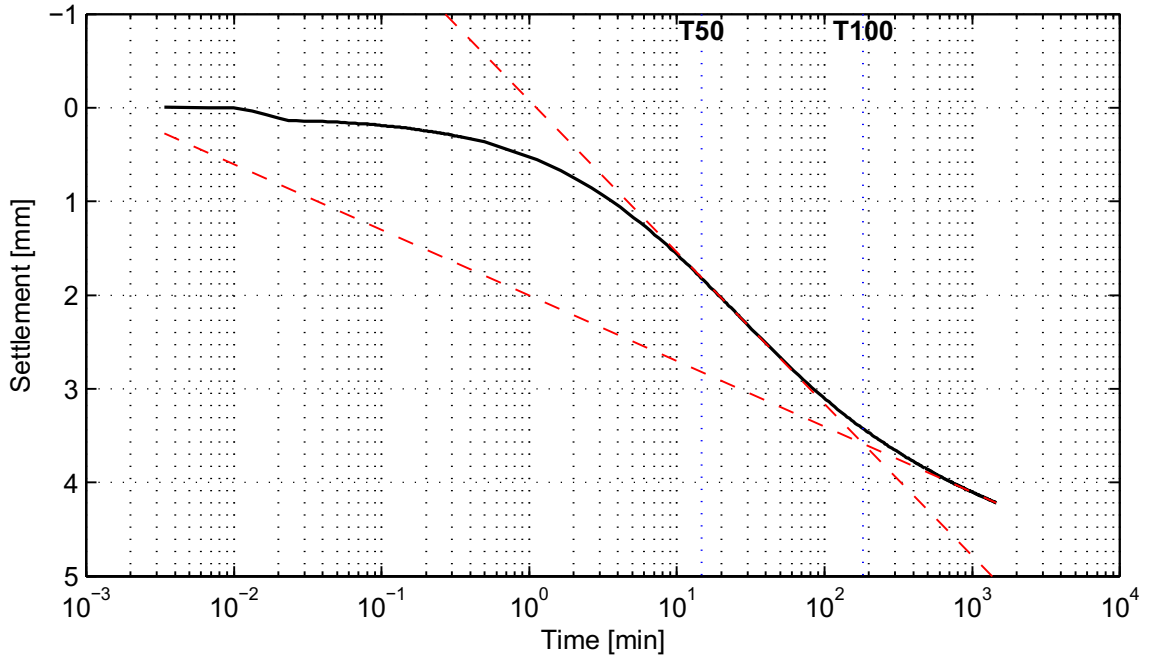
project  
1203768.18  
appendix  
SA108C

seen  
-  
page  
5

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:43

## Casagrande method (page 2/4)

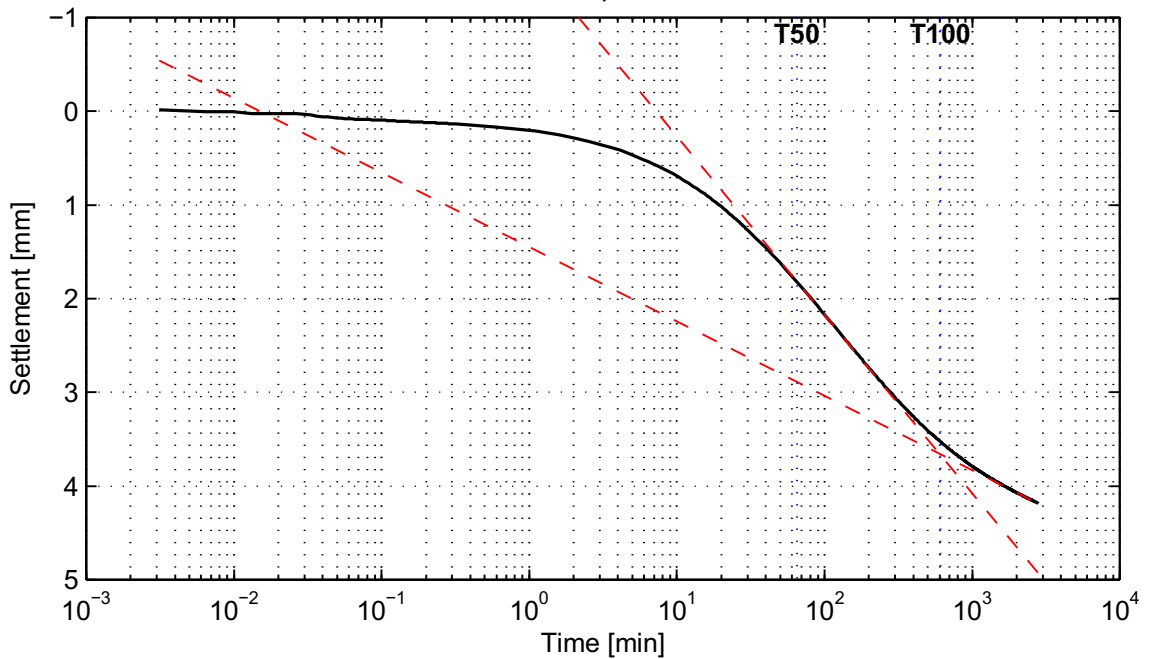
Load step 30 kPa



$C_v = 1.2e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 3.8e-002$

$M_v = 9.4e-003 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.1e-009 \text{ m/s}$

Load step 79 kPa



$C_v = 1.5e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 5.6e-002$

$M_v = 5.2e-003 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 7.6e-011 \text{ m/s}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 108C, depth -4.89 m till -5.09 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

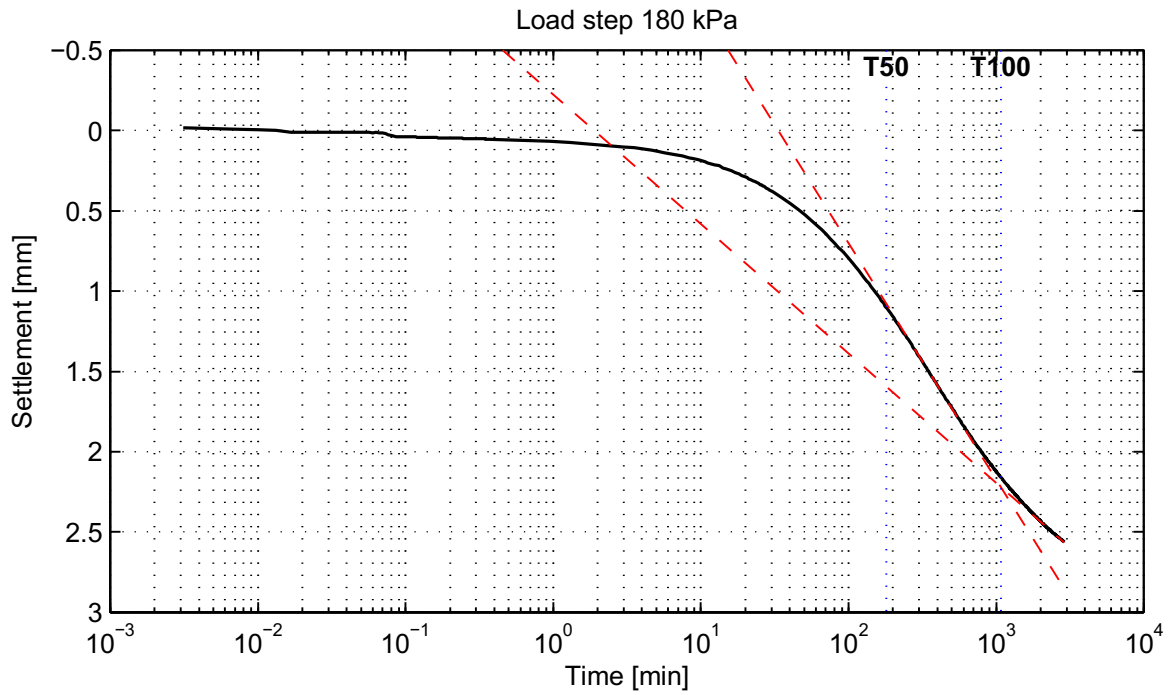
project  
1203768.18

appendix  
SA108C

seen  
-

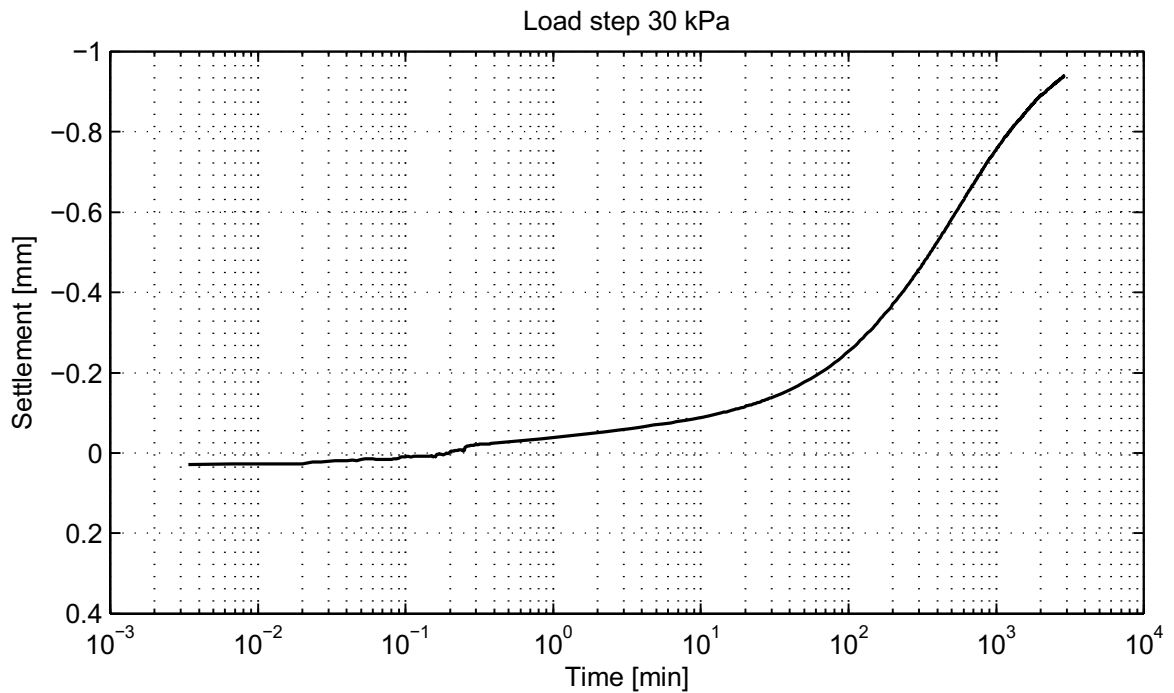
page  
6

### Casagrande method (page 3/4)



$C_v = 2.8e-010 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 8.1e-002$

$M_v = 2.2e-003 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 6.0e-012 \text{ m/s}$



No calculation performed.

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 108C, depth -4.89 m till -5.09 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

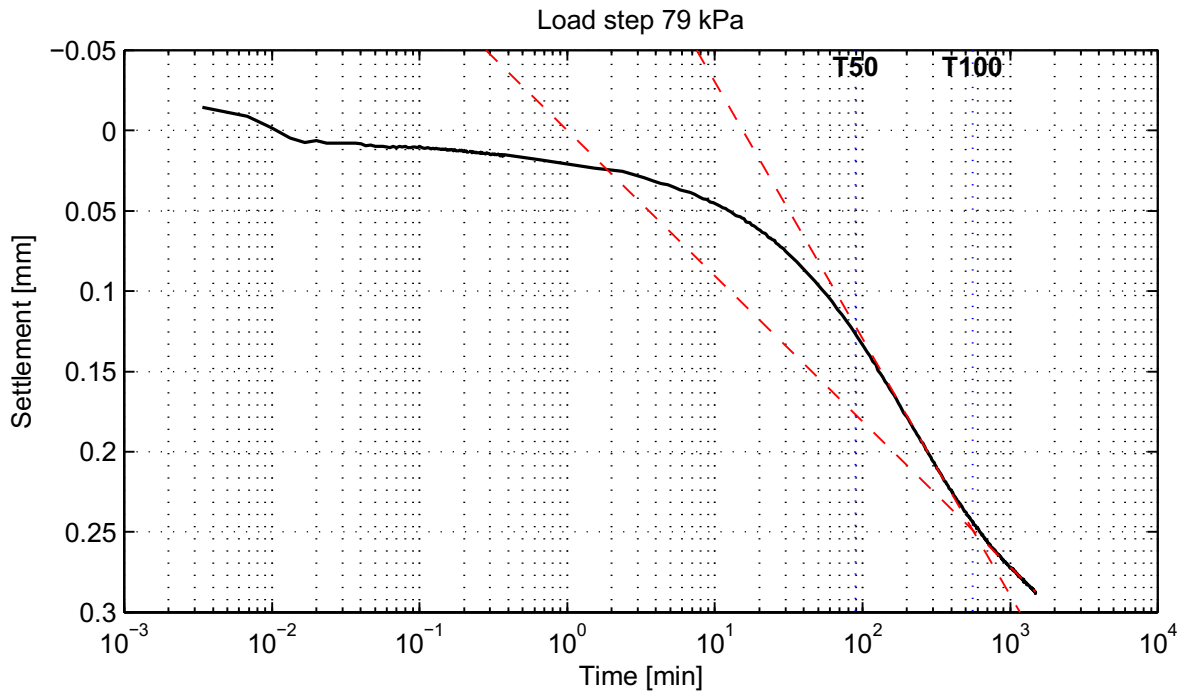
project  
 1203768.18

appendix  
 SA108C

seen  
 -

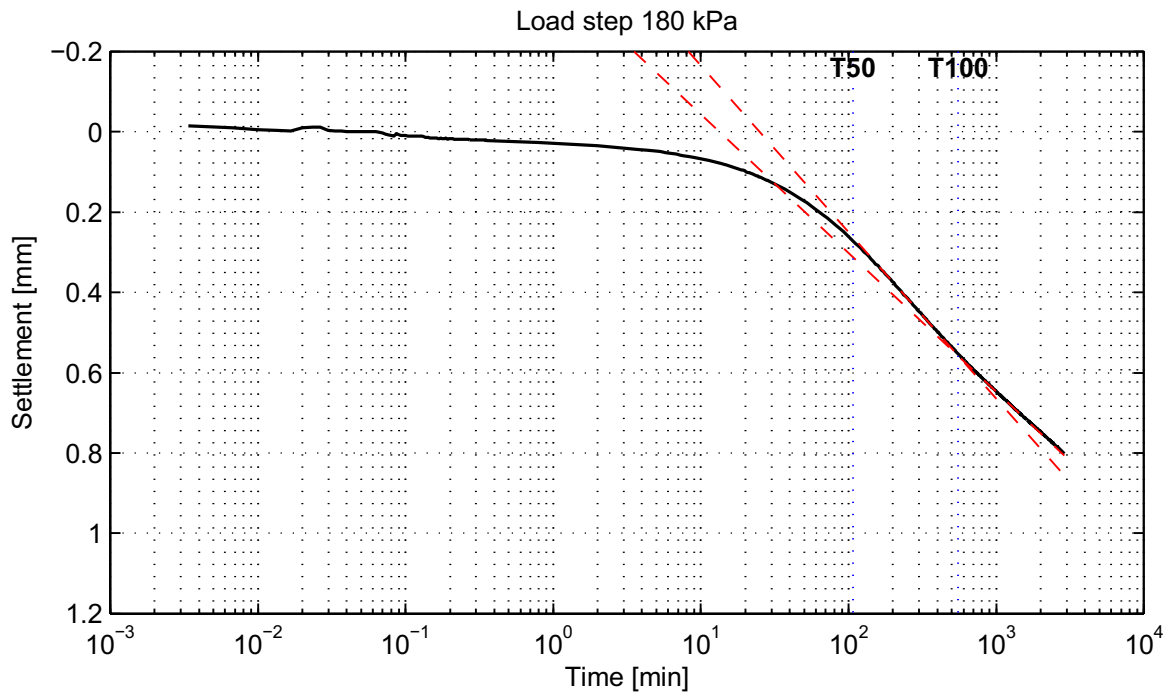
page  
 7

### Casagrande method (page 4/4)



$C_v = 4.8e-010 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 5.9e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 2.8e-012 \text{ m/s}$



$C_v = 3.6e-010 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 7.1e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 2.5e-012 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 108C, depth -4.89 m till -5.09 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

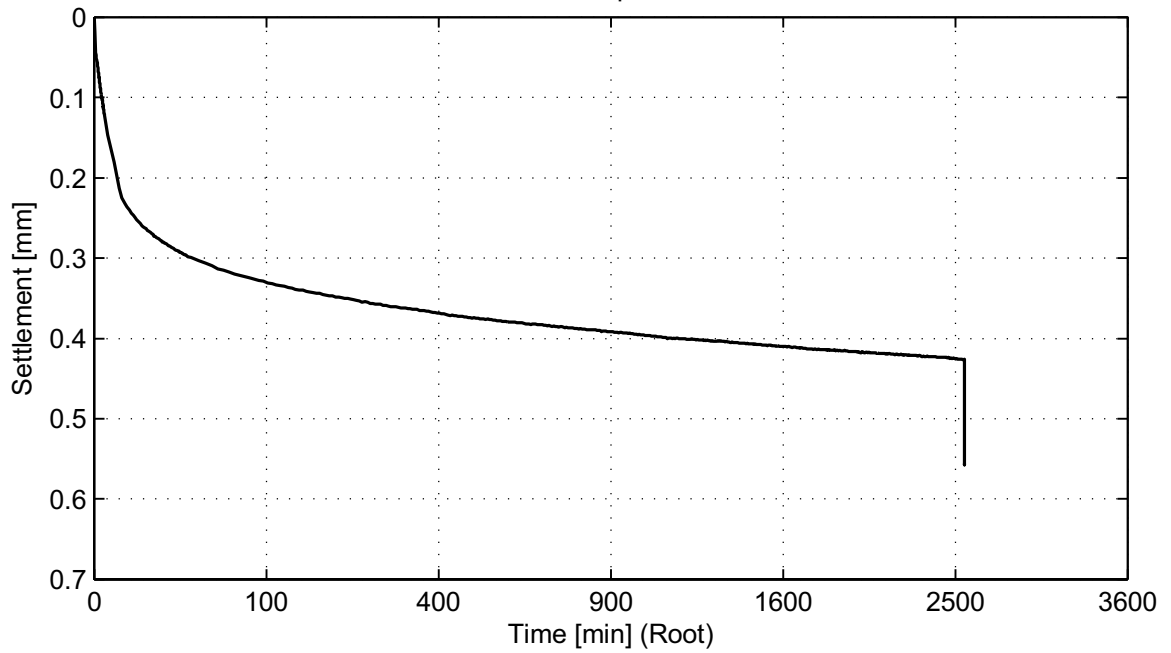
seen  
 -

appendix  
 SA108C

page  
 8

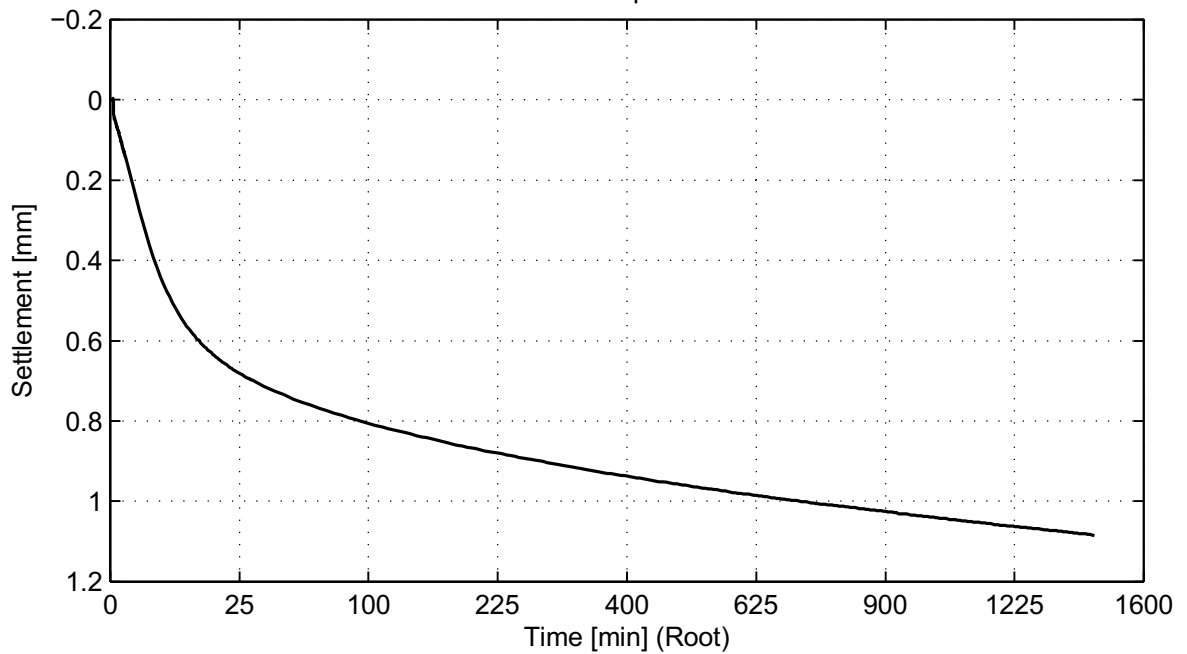
## Taylor method (page 1/4)

Load step 4 kPa



No calculation performed.

Load step 9 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 108C, depth -4.89 m till -5.09 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

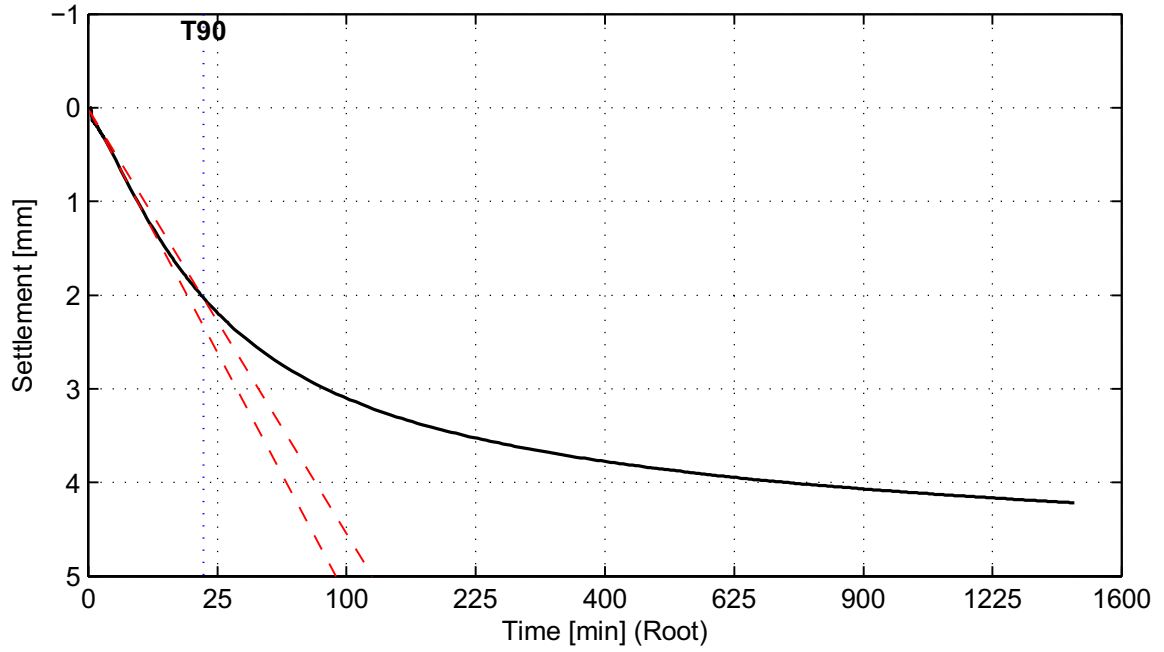
appendix  
SA108C

seen  
-

page  
9

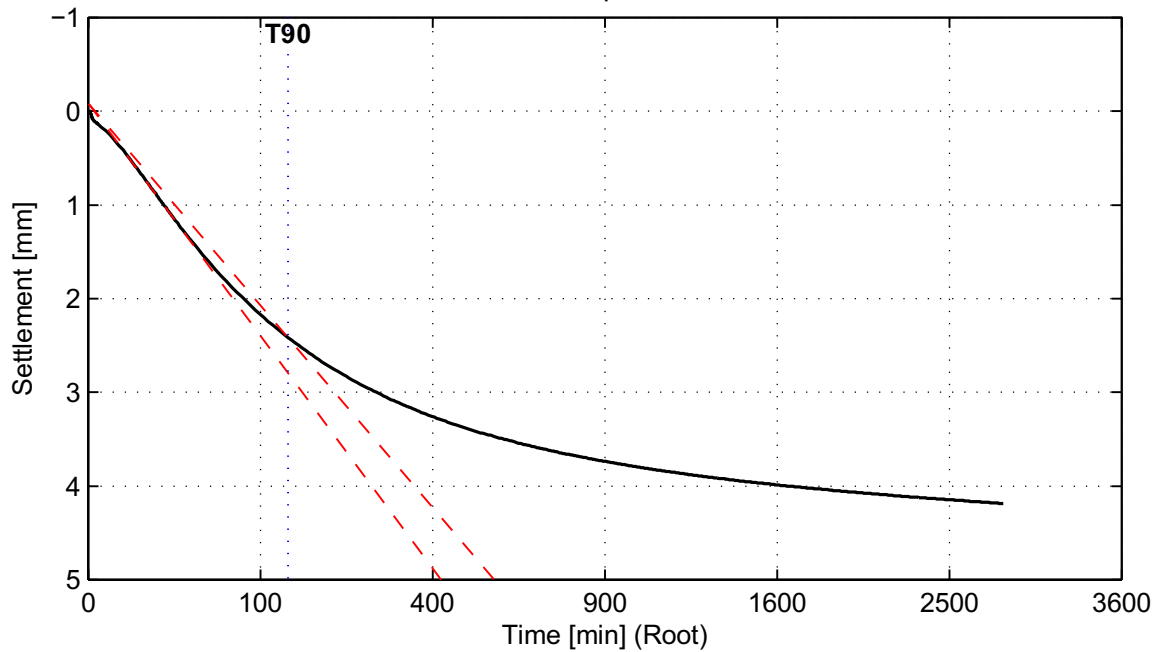
## Taylor method (page 2/4)

Load step 30 kPa



$C_v = 3.6e-008 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 79 kPa



$C_v = 2.8e-009 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 108C, depth -4.89 m till -5.09 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA108C

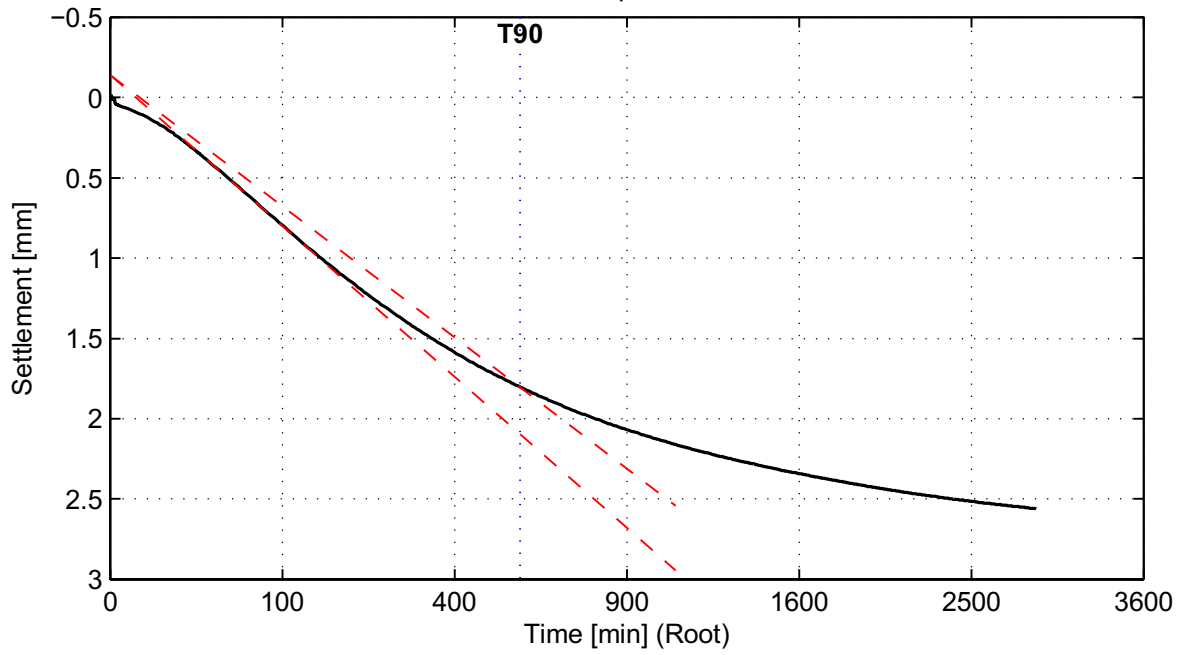
page  
10

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:43



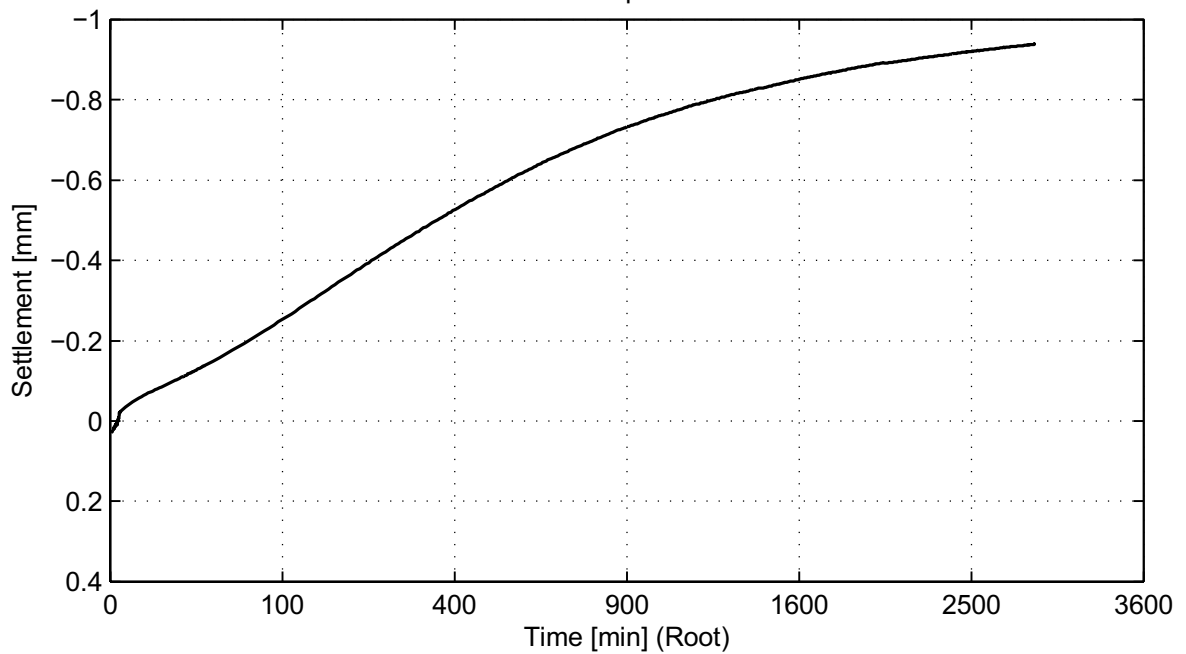
### Taylor method (page 3/4)

Load step 180 kPa



$C_v = 3.2e-010 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 30 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 108C, depth -4.89 m till -5.09 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

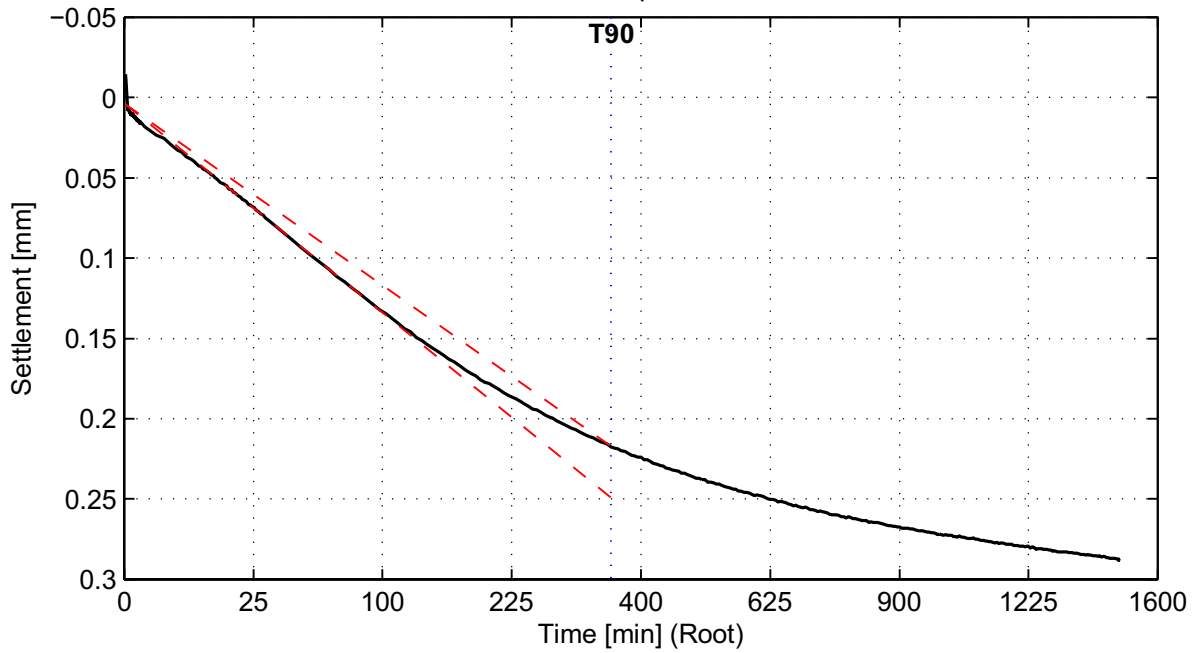
Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA108C

page  
11

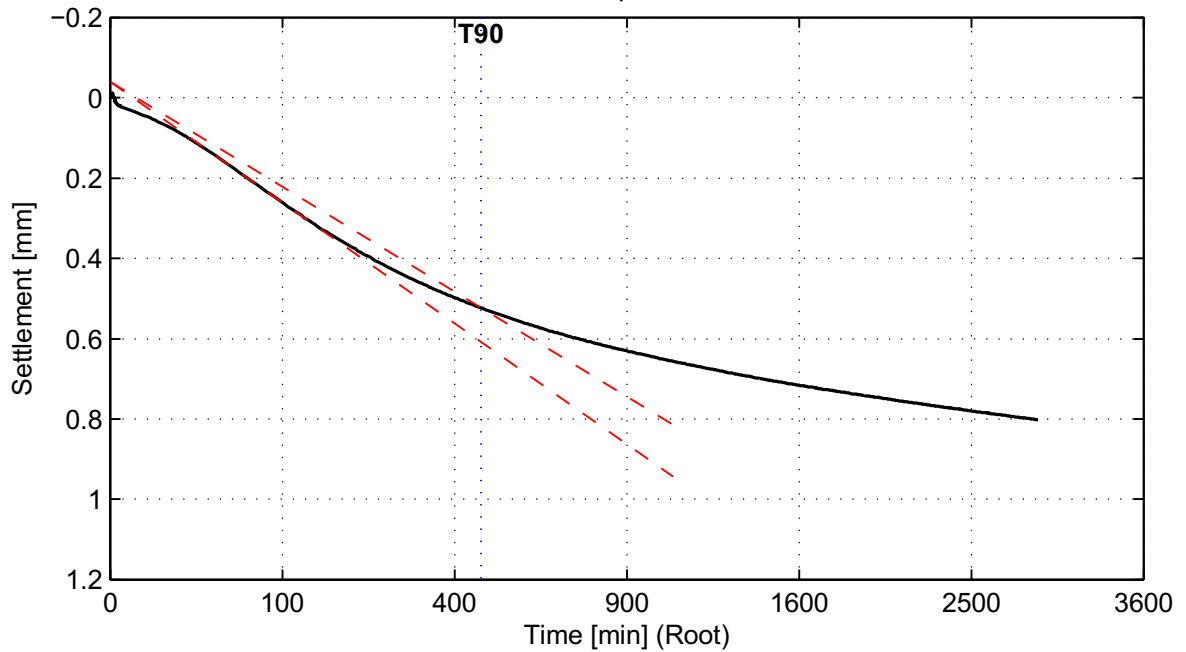
## Taylor method (page 4/4)

Load step 79 kPa



$C_v = 5.0e-010 \text{ m}^2/\text{s}$

Load step 180 kPa



$C_v = 3.3e-010 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 108C, depth -4.89 m till -5.09 m NAP

project  
1203768.18

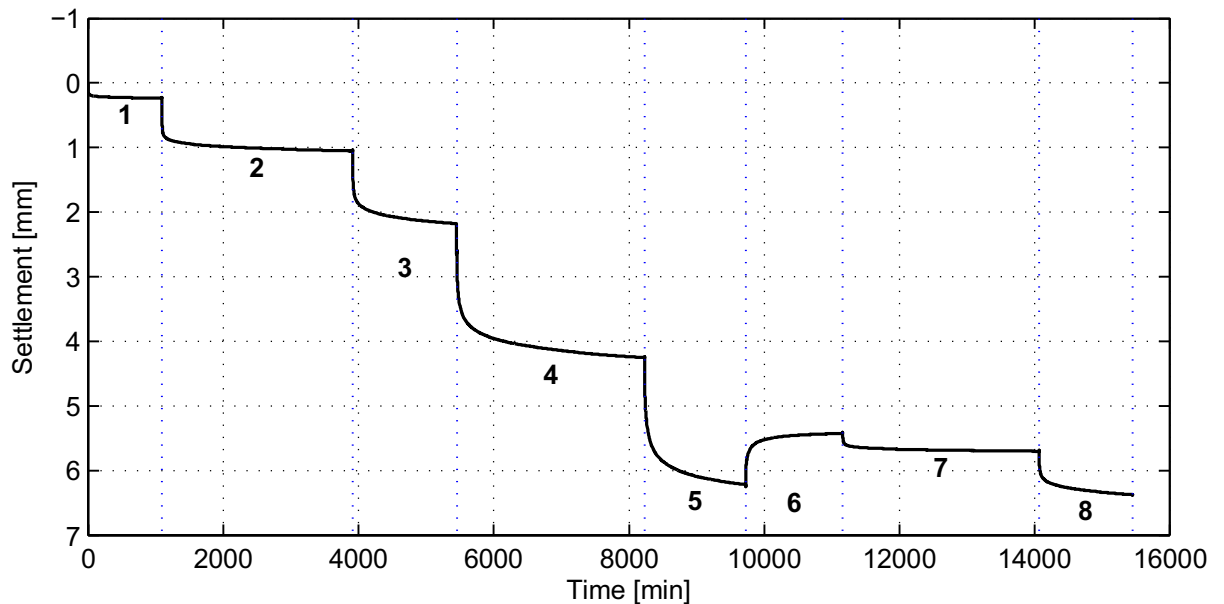
seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA108C

page  
12

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:43



### General soil and test parameters

Soil description (NEN 5104)	Vm
Initial volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	11.4
Initial volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	3.3
Volumetric weight particles [kN/m <sup>3</sup> ]	18.7
Initial water content [%]	240.6
Initial sample height [mm]	20
Initial sample diameter [mm]	63
Initial saturation [-]	1.0
Final volumetric weight – wet [kN/m <sup>3</sup> ]	12.6
Final volumetric weight – dry [kN/m <sup>3</sup> ]	5.2
Final water content [%]	142.7
Final saturation [-]	1.0
Type of test (wet/dry)	Wet
Visual disturbance sample	undisturbed
Startdate	2012-04-20
Enddate	2012-05-01
Sample disturbance index	5.2, moderate
Lab temperature [° C]	20.1
Pc <sub>Becker</sub> [kPa]	42.8
Pc <sub>Janbu</sub> [kPa]	-

Load step number	Load [kPa]
1	10
2	30
3	70
4	151
5	301
6	71
7	152
8	302

References:  
 Isotachenparameters: CUR recommendation 101  
 Pc Becker: Becker et al. (1987)  
 Pc Janbu: Janbu (1969)  
 Sample disturbance index: Lunne et al (2006)

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm, sample 119B, depth -2.85 m till -3.05 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

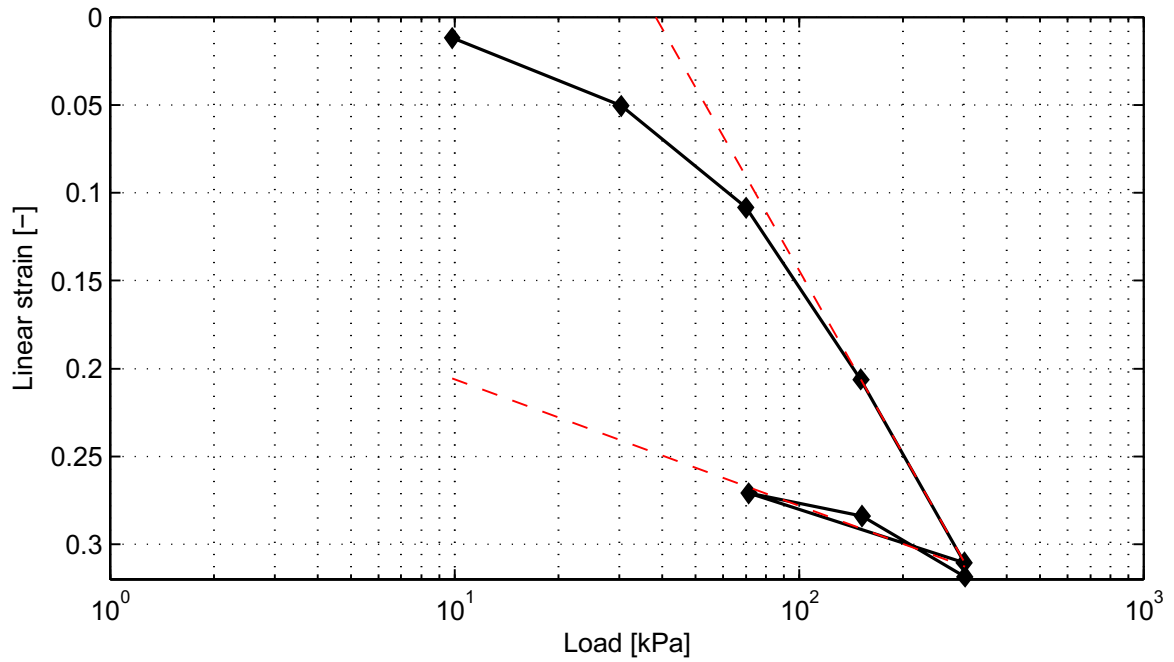
project  
 1203768.18

appendix  
 SA119B

seen  
 -

page  
 1

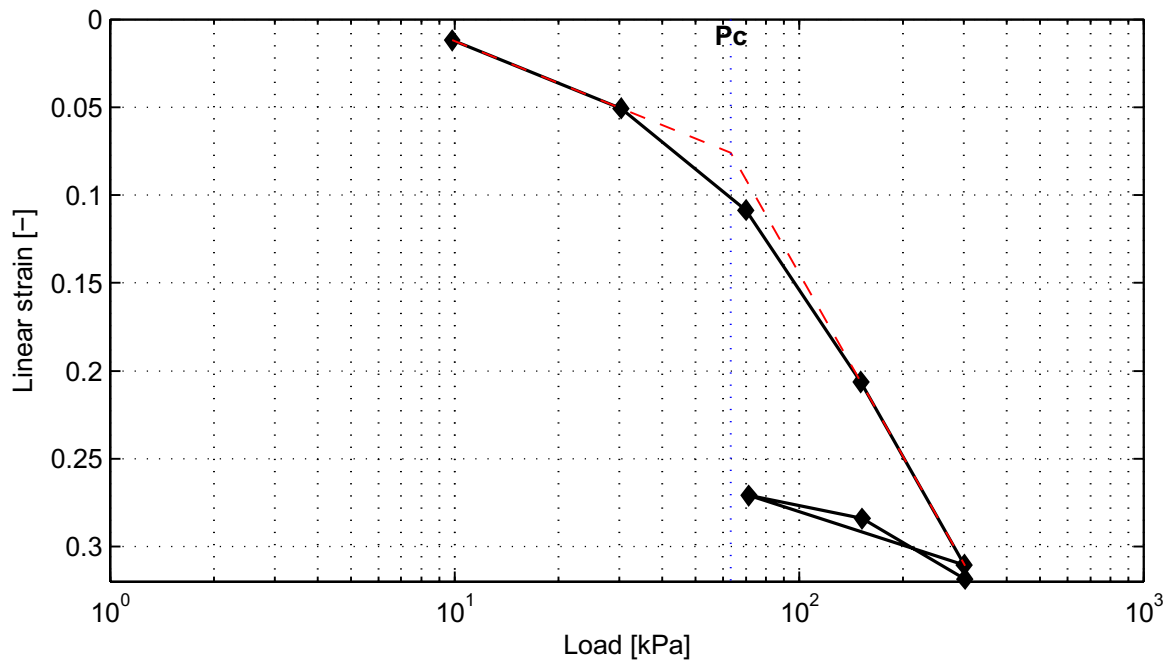
### NEN-Bjerrum method



RR = 7.2e-002  
CR = 3.5e-001

Ca = 2.6e-002

Vo = 5.60



Pc = 63.3 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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm, sample 119B, depth -2.85 m till -3.05 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

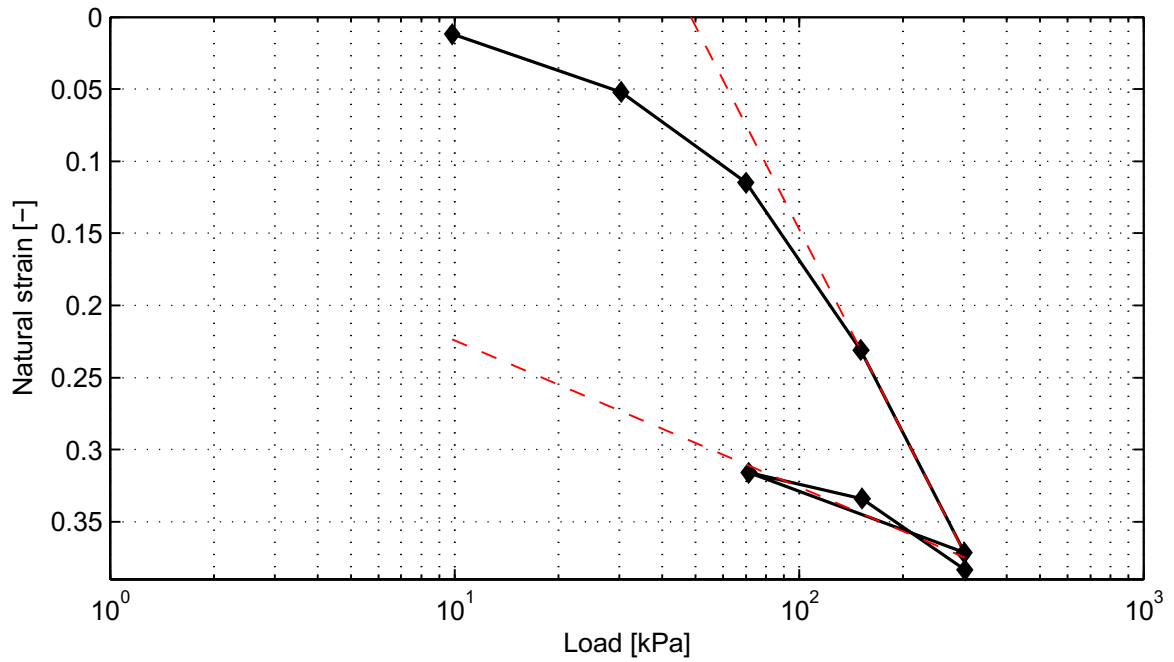
Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA119B

page  
2

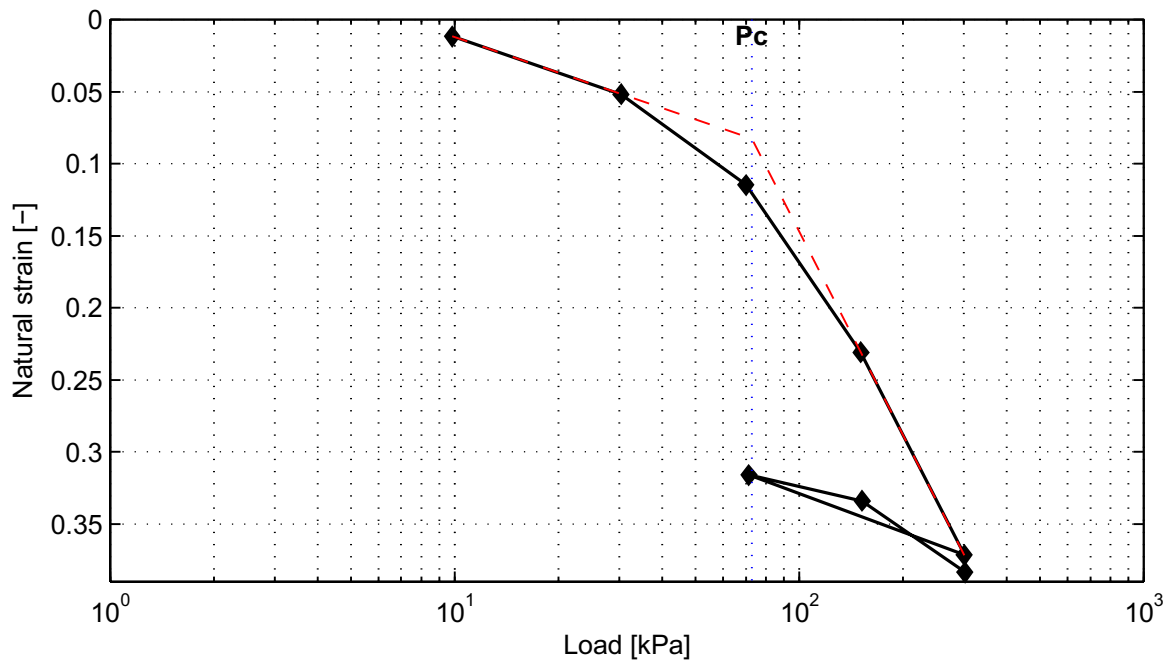
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:51

### Isotachen method



A = 4.4e-002  
B = 2.0e-001

C = 1.2e-002



Pc = 72.7 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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm, sample 119B, depth -2.85 m till -3.05 m NAP

project  
1203768.18

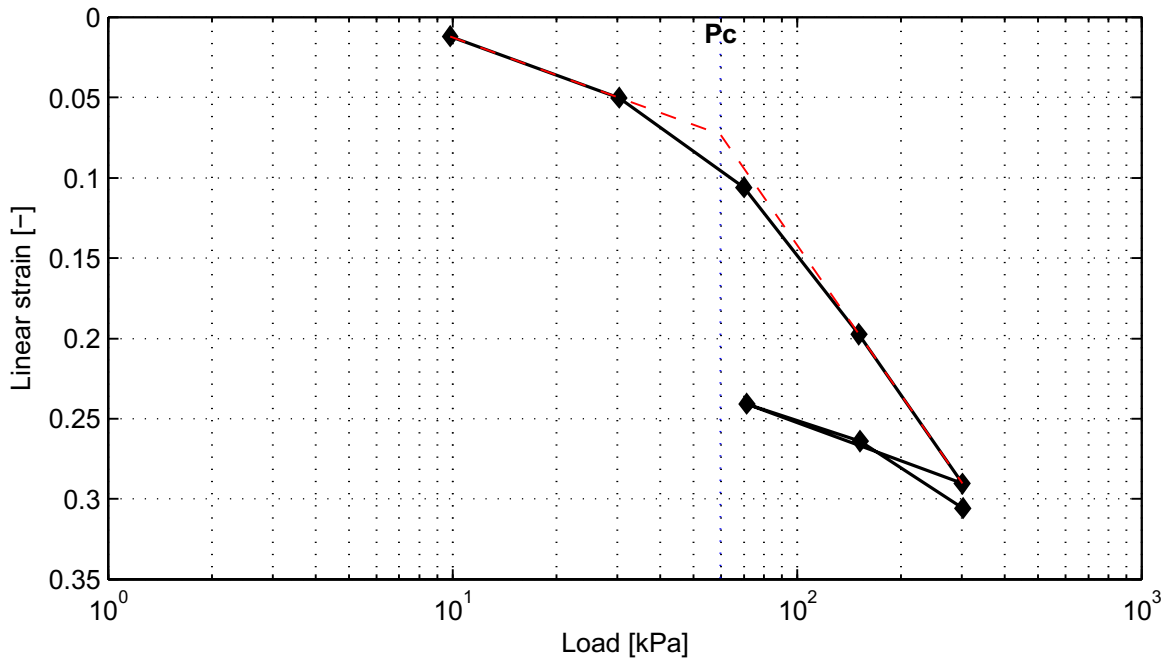
seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA119B

page  
3

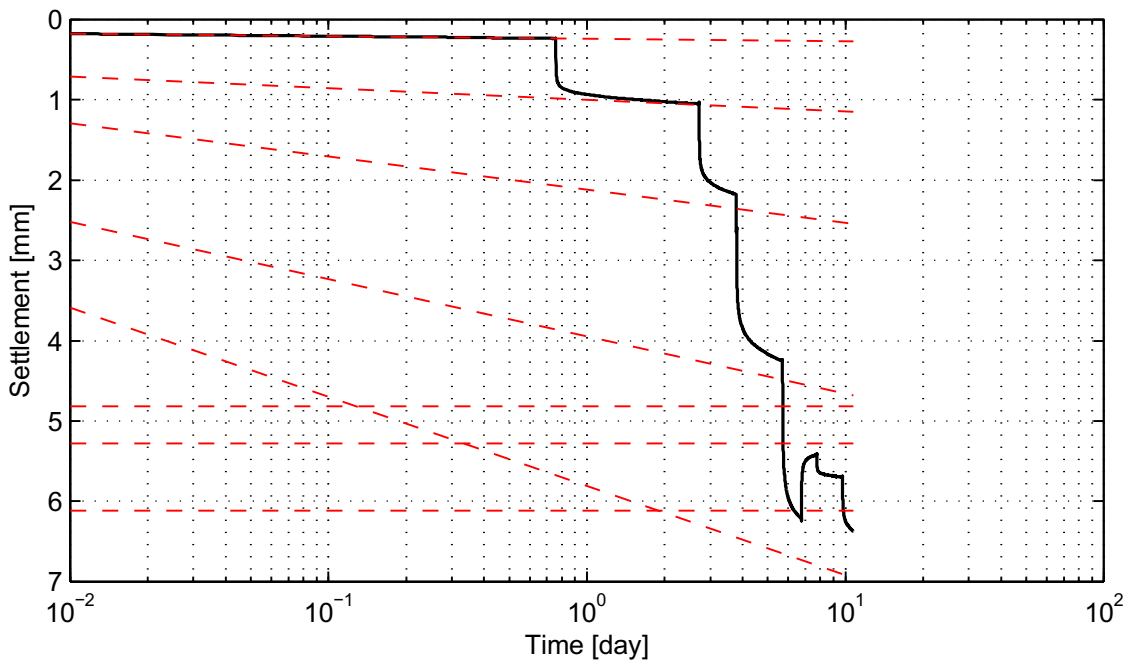
### Koppejan method



$C_p = 3.0e+001$   
 $C_{p'} = 7.4e+000$

$C_s = 2.0e+002$   
 $C_{s'} = 3.5e+001$

$C = 1.9e+001$   
 $C' = 4.0e+000$   
 $P_{c'} = 59.9 \text{ kPa}$



$C_p = 3.0e+001$   
 $C_{p'} = 7.4e+000$

$C_s = 2.0e+002$   
 $C_{s'} = 3.5e+001$

$C = 1.9e+001$   
 $C' = 4.0e+000$   
 $P_{c'} = 59.9 \text{ kPa}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm, sample 119B, depth -2.85 m till -3.05 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

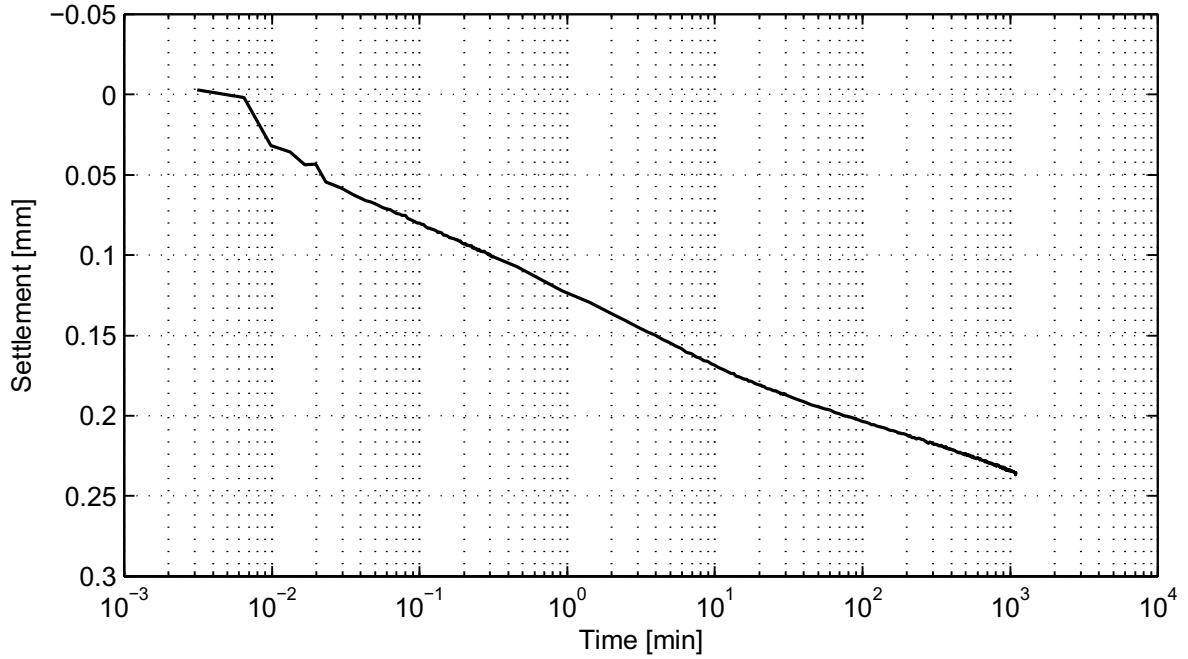
Oedometer test conform NEN 5118

appendix  
SA119B

page  
4

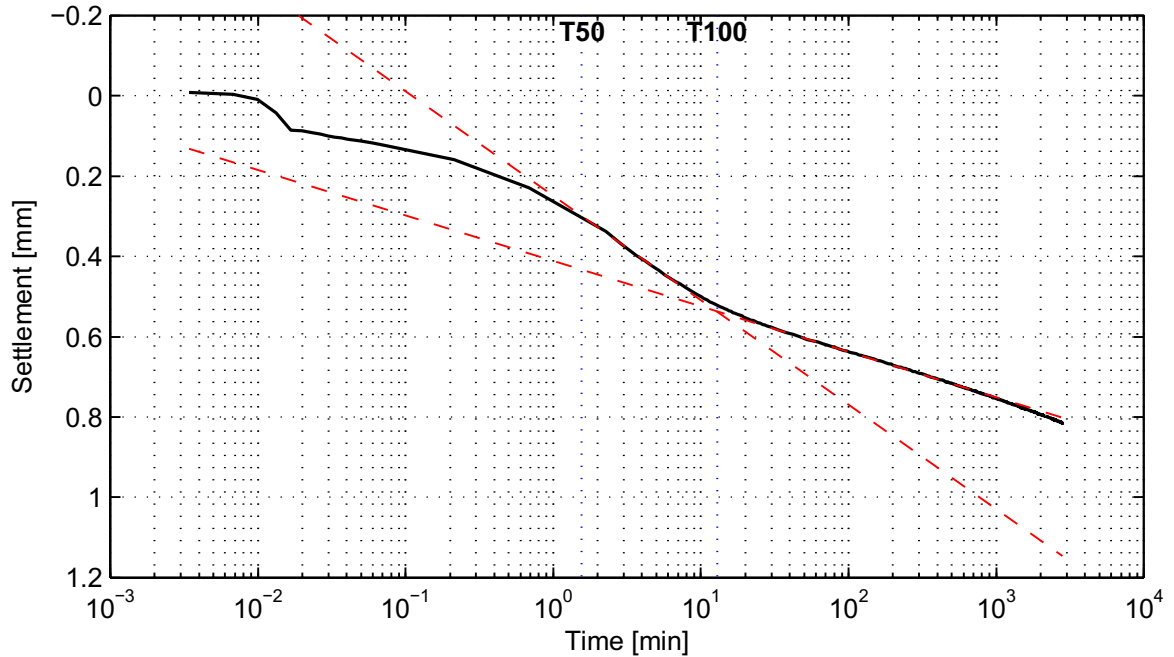
### Casagrande method (page 1/4)

Load step 10 kPa



No calculation performed.

Load step 30 kPa



$C_v = 1.5e-007 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 1.2e-003 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.7e-009 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm, sample 119B, depth -2.85 m till -3.05 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

appendix  
 SA119B

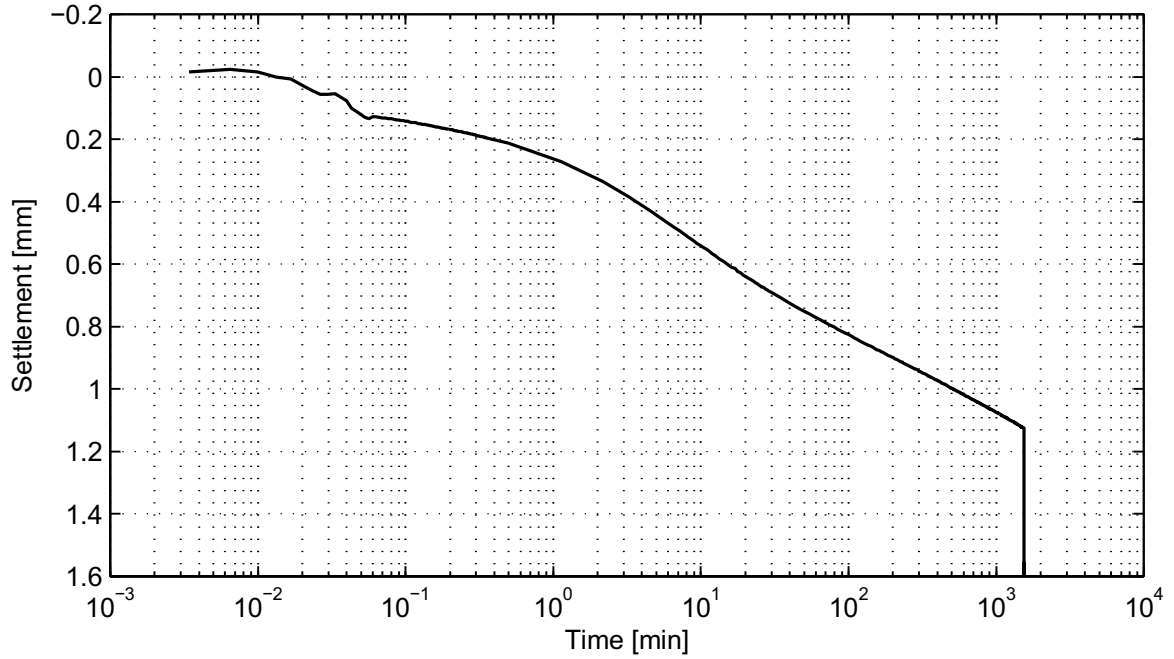
seen  
 -

page  
 5

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:51

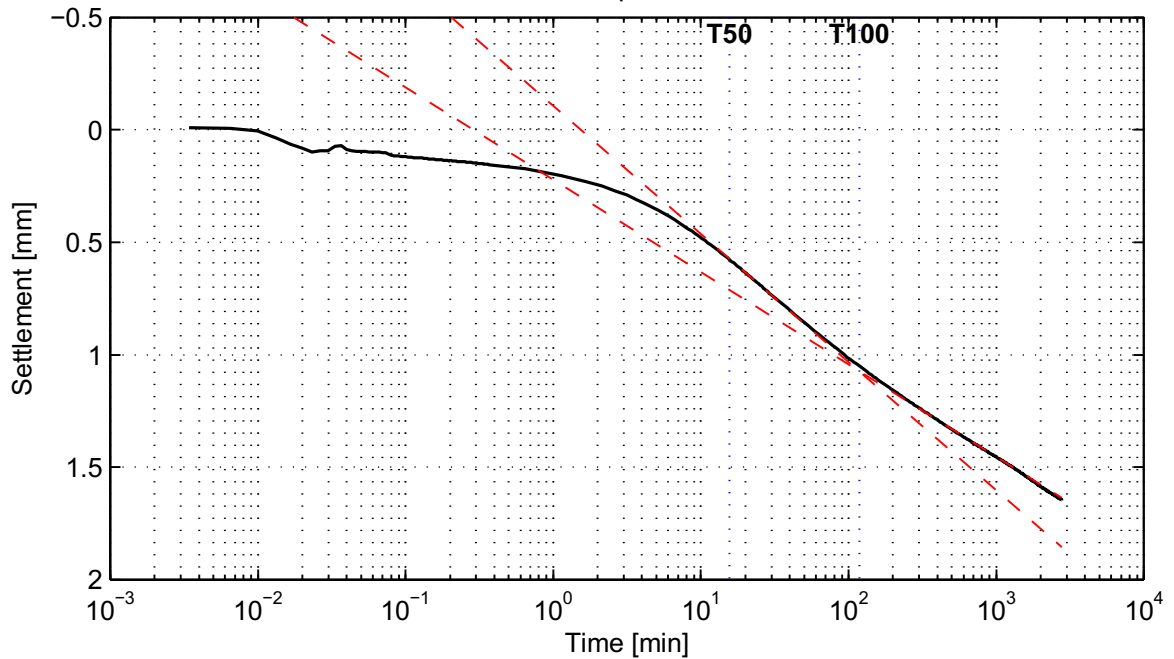
### Casagrande method (page 2/4)

Load step 70 kPa



No calculation performed.

Load step 151 kPa



$C_v = 1.1e-008 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 2.4e-002$

$M_v = 7.1e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 8.0e-011 \text{ m/s}$

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm, sample 119B, depth -2.85 m till -3.05 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

seen  
 -

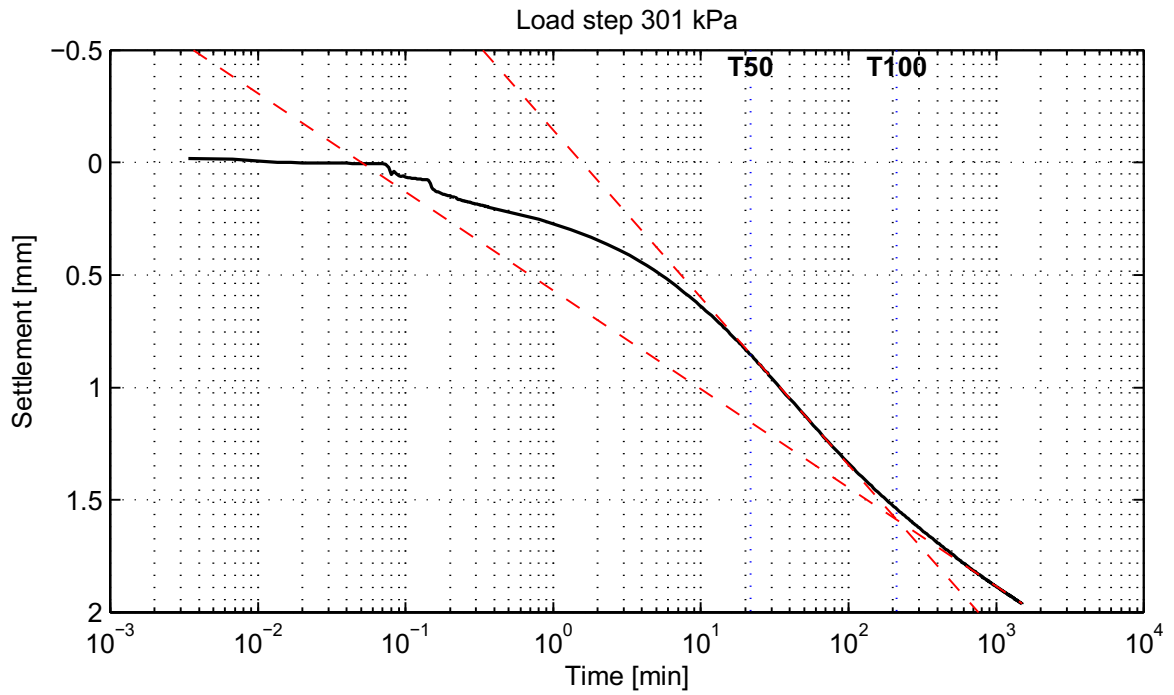
appendix  
 SA119B

page  
 6

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:51

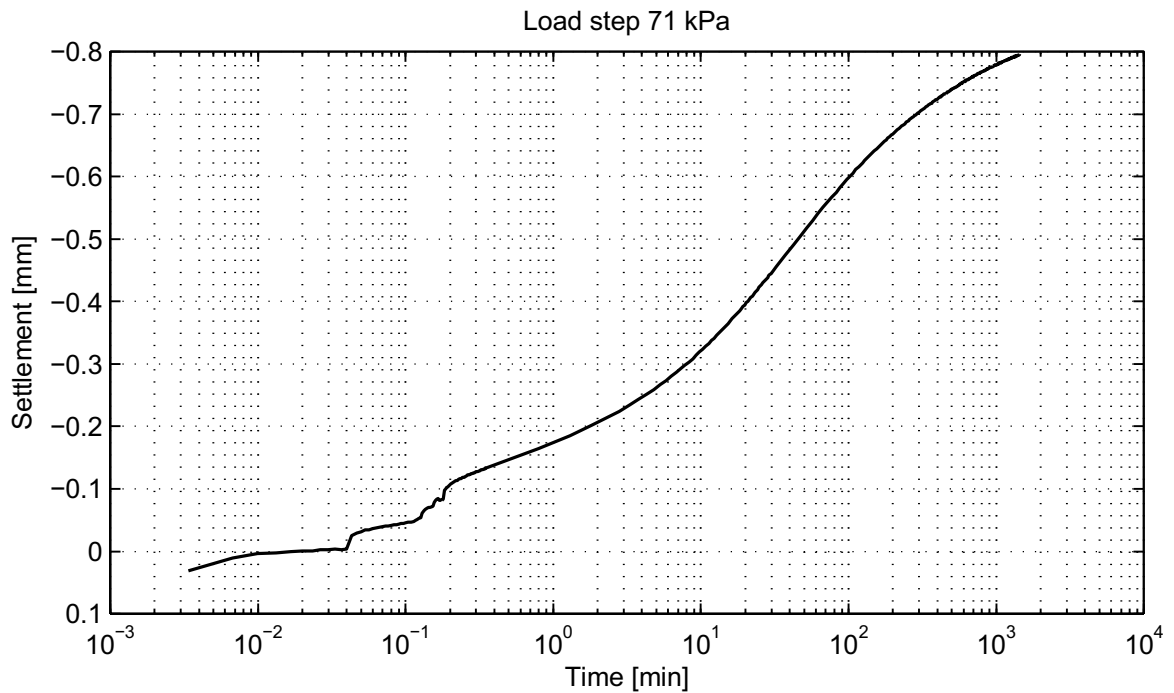


### Casagrande method (page 3/4)



$C_v = 6.5e-009 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = 2.8e-002$

$M_v = 6.3e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 4.0e-011 \text{ m/s}$



No calculation performed.

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm, sample 119B, depth -2.85 m till -3.05 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

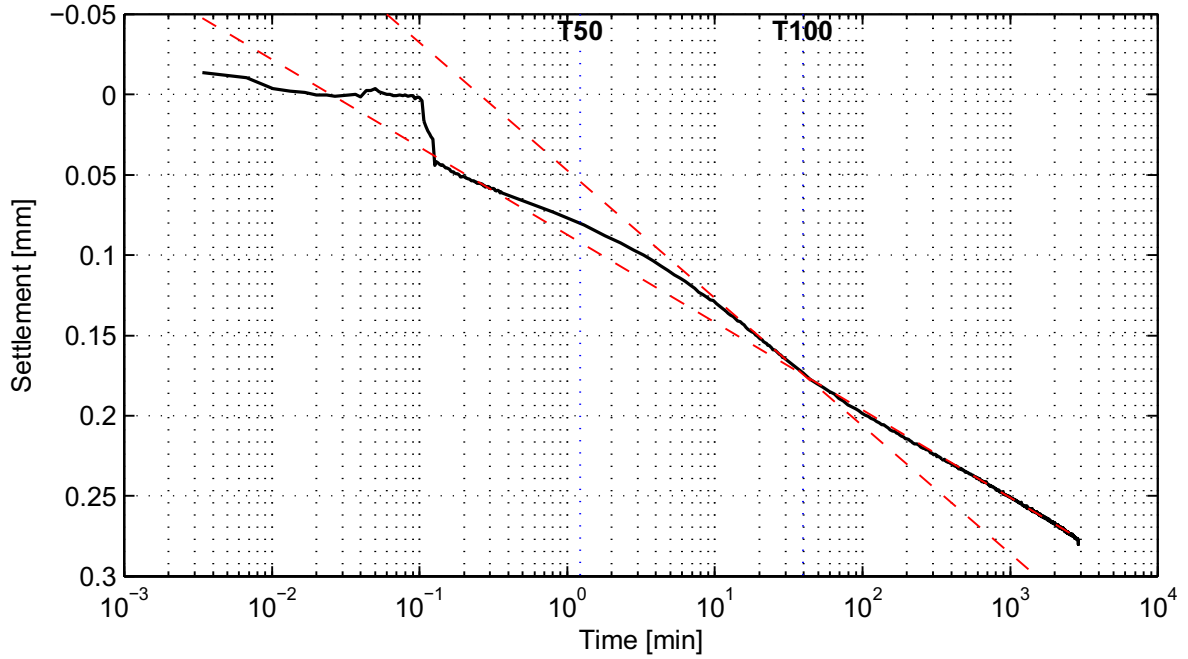
appendix  
 SA119B

seen  
 -

page  
 7

### Casagrande method (page 4/4)

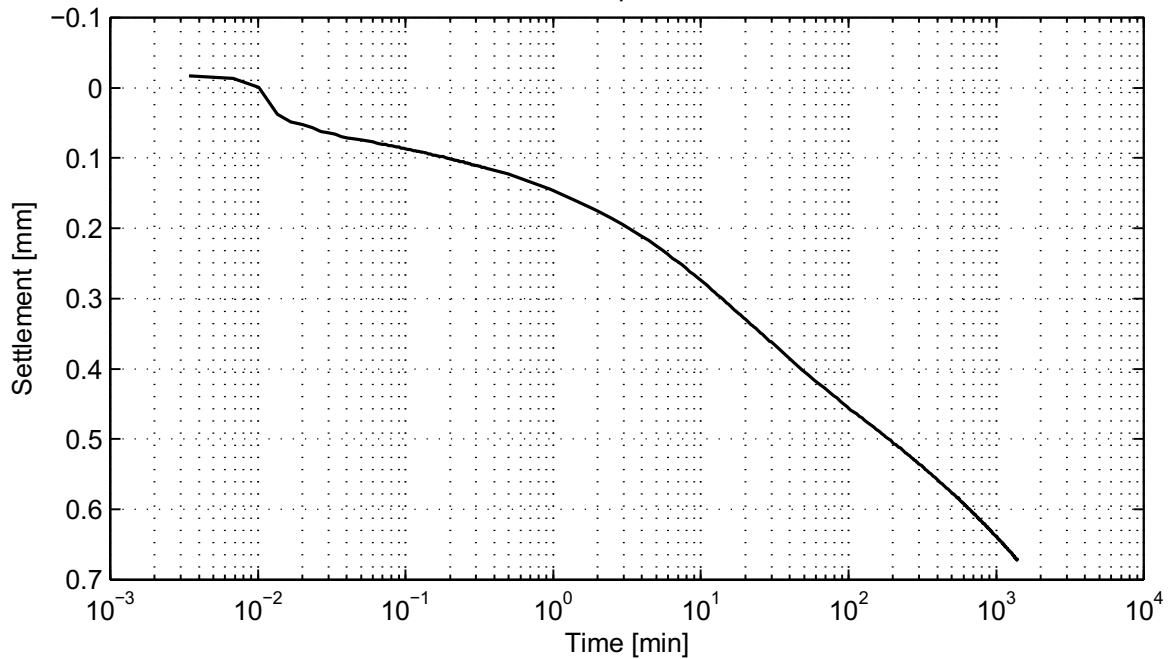
Load step 152 kPa



$C_v = 1.1e-007 \text{ m}^2/\text{s}$   
 $C_a = -$

$M_v = 1.6e-004 \text{ m}^2/\text{kN}$   
 $K = 1.7e-010 \text{ m/s}$

Load step 302 kPa



No calculation performed.

**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  
 2012-05-04

signed  
 ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm, sample 119B, depth -2.85 m till -3.05 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
 1203768.18

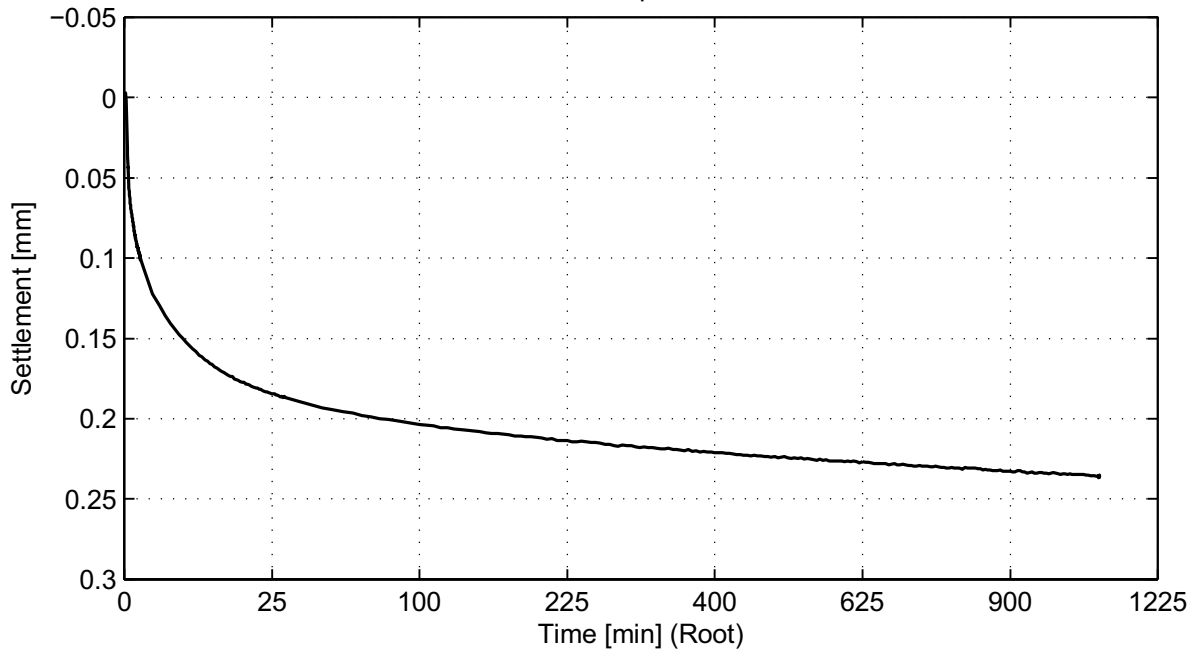
appendix  
 SA119B

seen  
 -

page  
 8

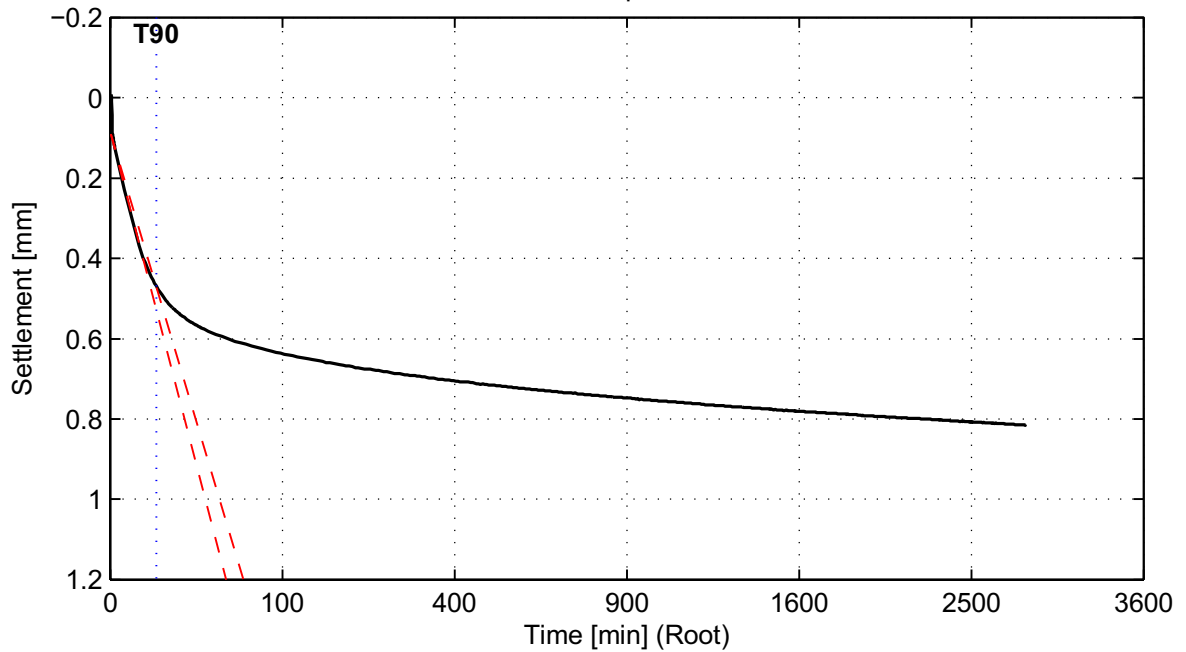
## Taylor method (page 1/4)

Load step 10 kPa



No calculation performed.

Load step 30 kPa



$C_v = 1.4e-007 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm, sample 119B, depth -2.85 m till -3.05 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

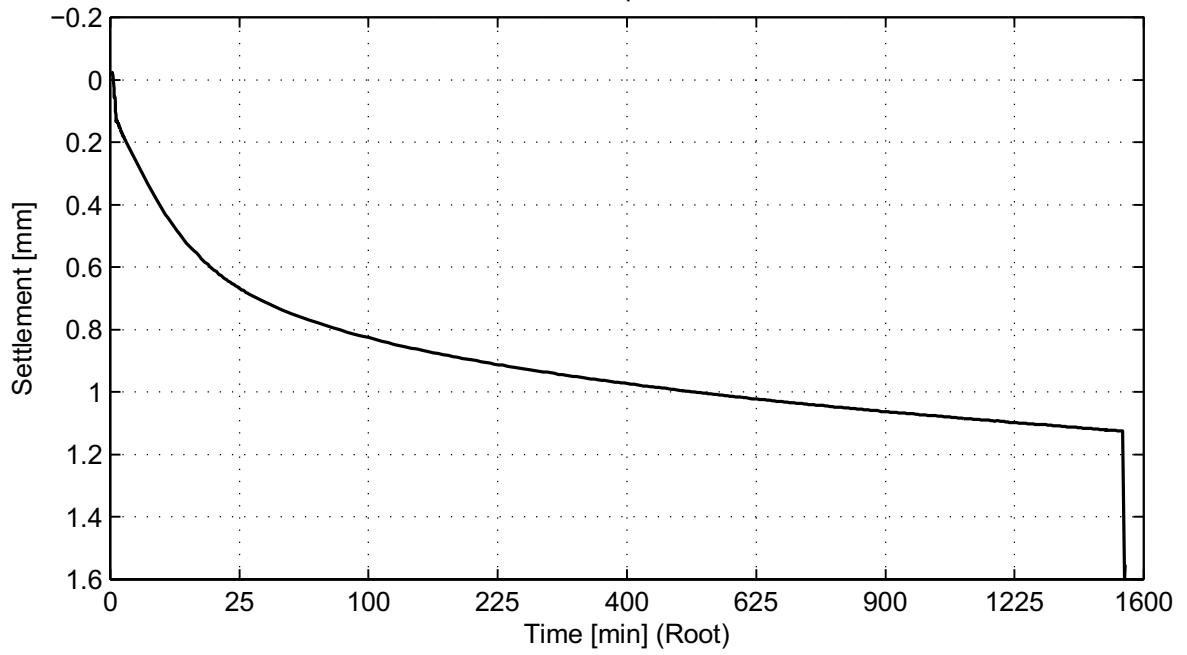
seen  
-

appendix  
SA119B

page  
9

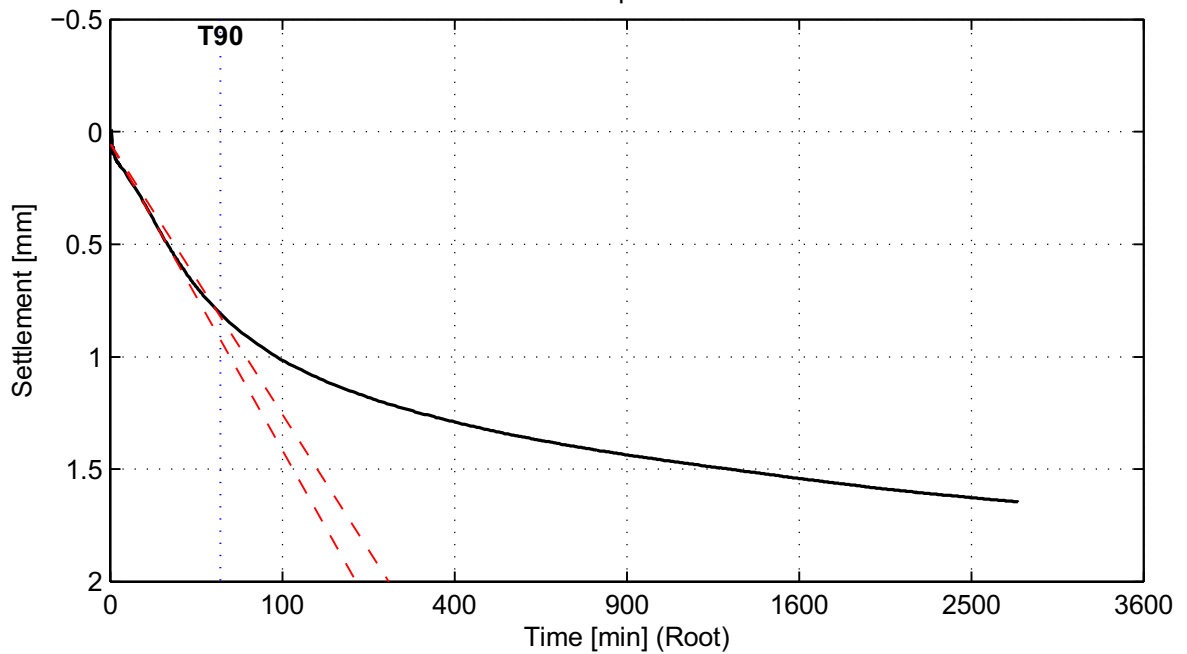
## Taylor method (page 2/4)

Load step 70 kPa



No calculation performed.

Load step 151 kPa



$C_v = 1.8e-008 \text{ m}^2/\text{s}$

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm, sample 119B, depth -2.85 m till -3.05 m NAP

project  
1203768.18

seen  
-

Oedometer test conform NEN 5118

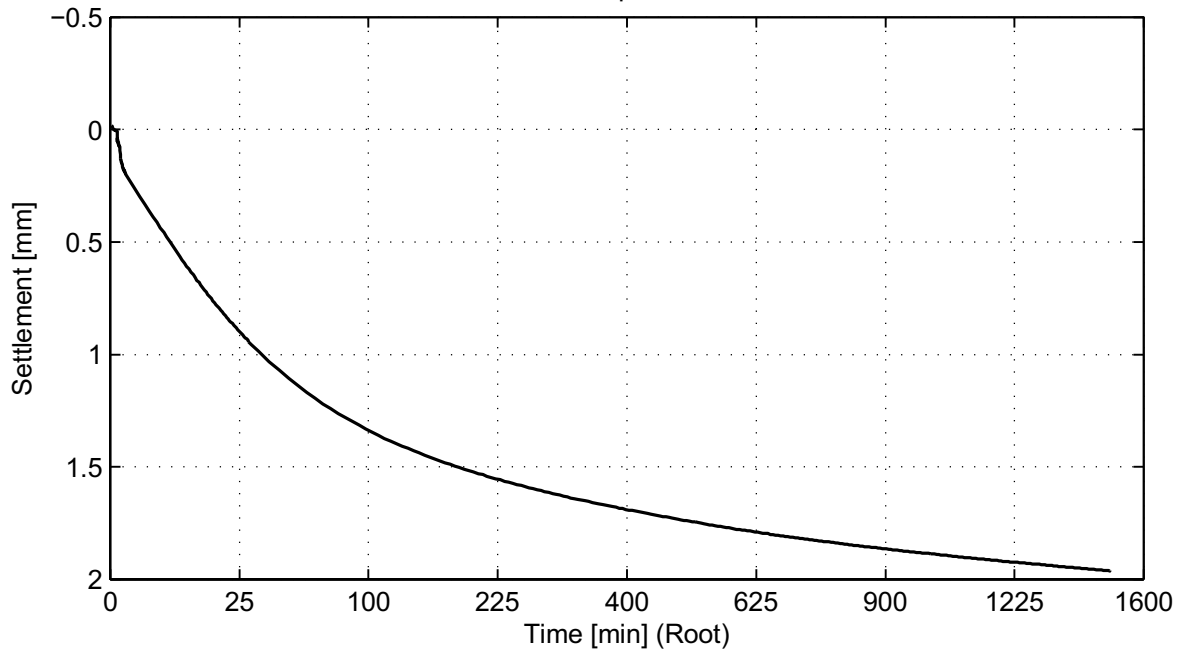
appendix  
SA119B

page  
10

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:51

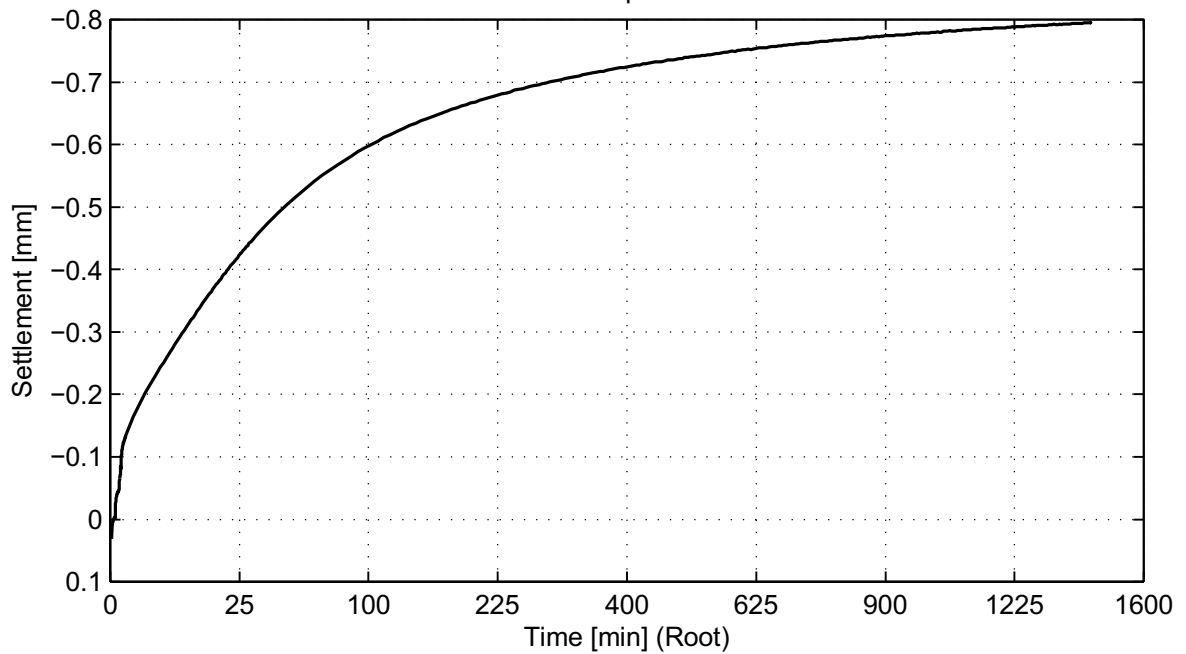
## Taylor method (page 3/4)

Load step 301 kPa



No calculation performed.

Load step 71 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm, sample 119B, depth -2.85 m till -3.05 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

project  
1203768.18

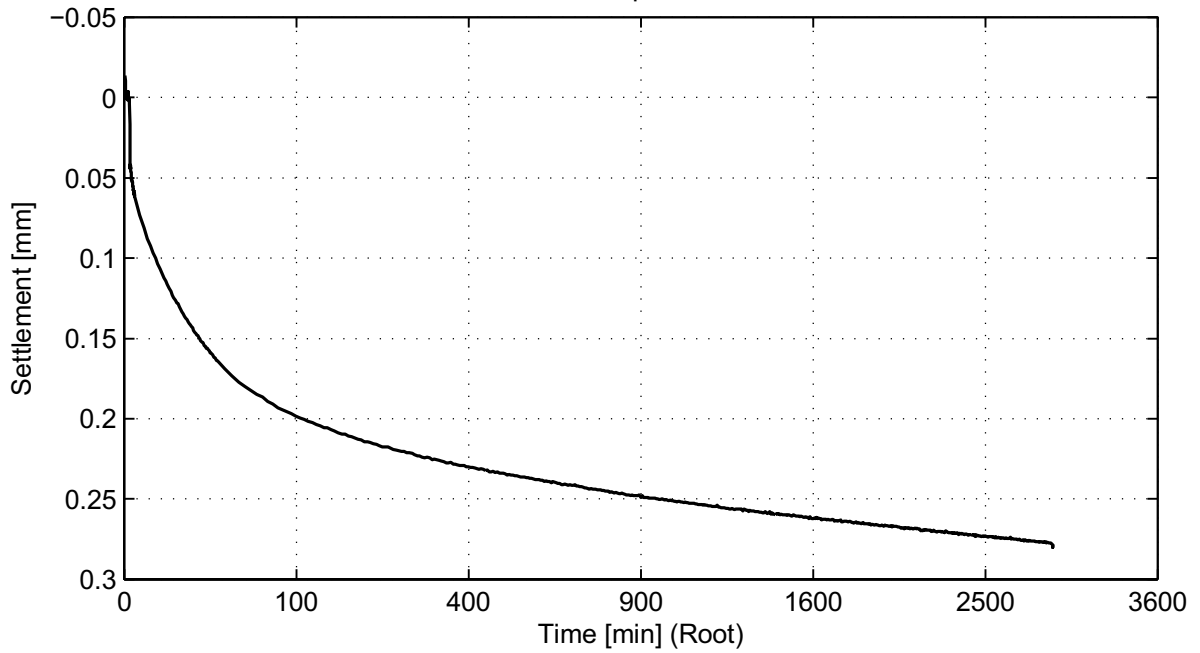
seen  
-

appendix  
SA119B

page  
11

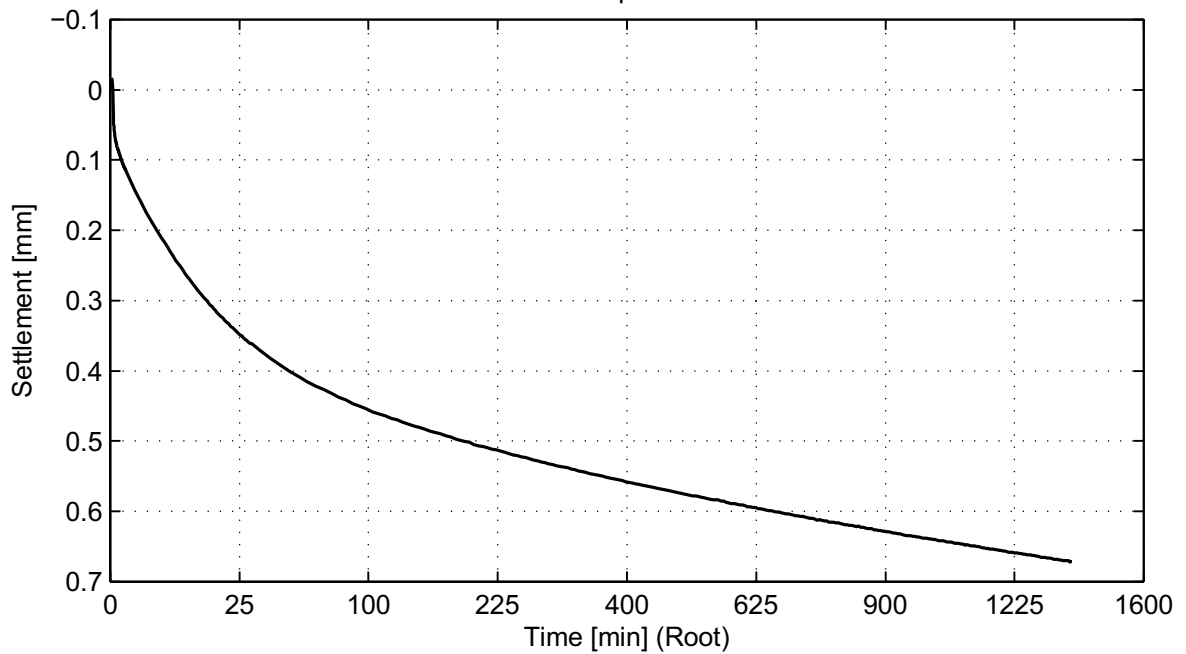
## Taylor method (page 4/4)

Load step 152 kPa



No calculation performed.

Load step 302 kPa



No calculation performed.

**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  
2012-05-04

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk23\_DP64\_Binnenberm, sample 119B, depth -2.85 m till -3.05 m NAP

Oedometer test conform NEN 5118

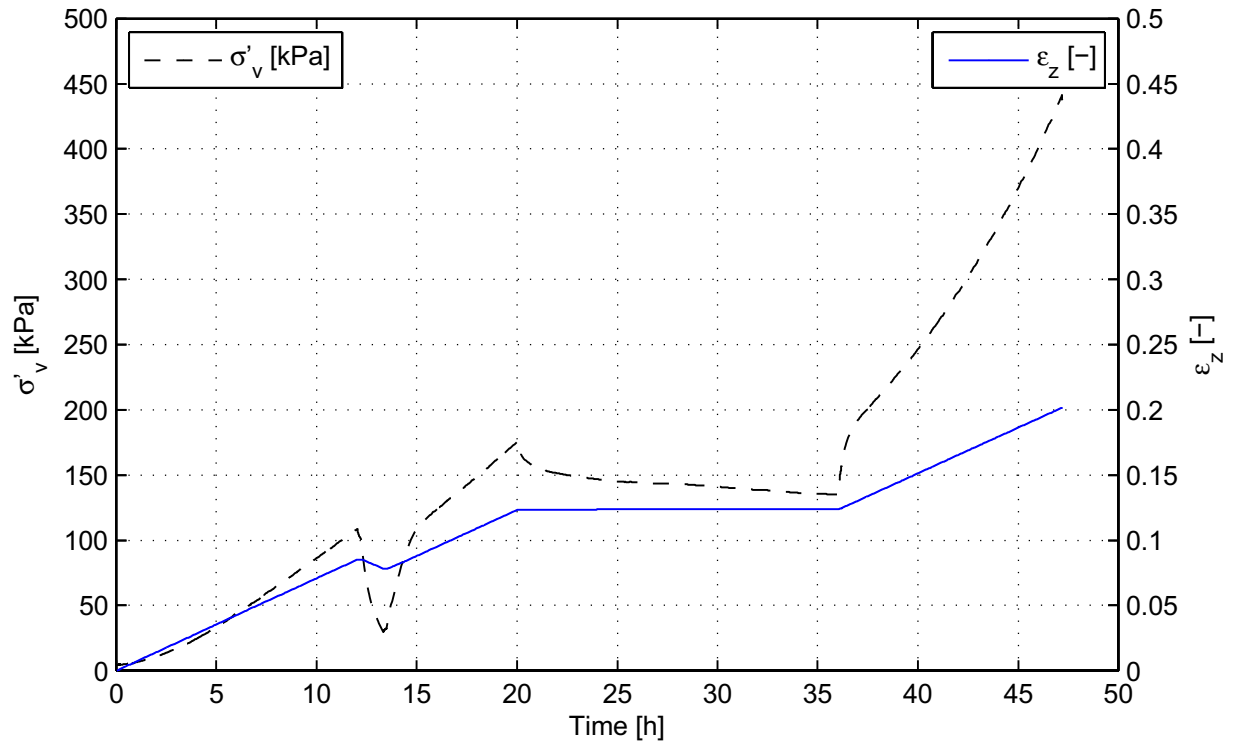
project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
SA119B

page  
12

## **C Samendrukkingsproeven**



#### Description of soil sample:

Soil description (NEN 5104)	Klei, sterk siltig
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	15.8
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	10.1
Water content [%]	56.6
Water content final [%]	42.3
Initial saturation [%]	0.98
Void ratio - initial [-]	1.49
Sample disturbance index [%]	5.4, moderate quality
sat. and e calculated with $\gamma_s$ [kN/3] of	25.2

#### Test overview (test plan):

Stress loading phase [kPa]	120
Stress unloading phase [kPa]	30
Stress reloading phase [kPa]	199
Stress relaxation phase [kPa]	199
Maximum stress [kPa]	500

**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  
2012-05-02

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 5A, depth: -0.55 m to -0.60 m NAP

K0-CRS measurement

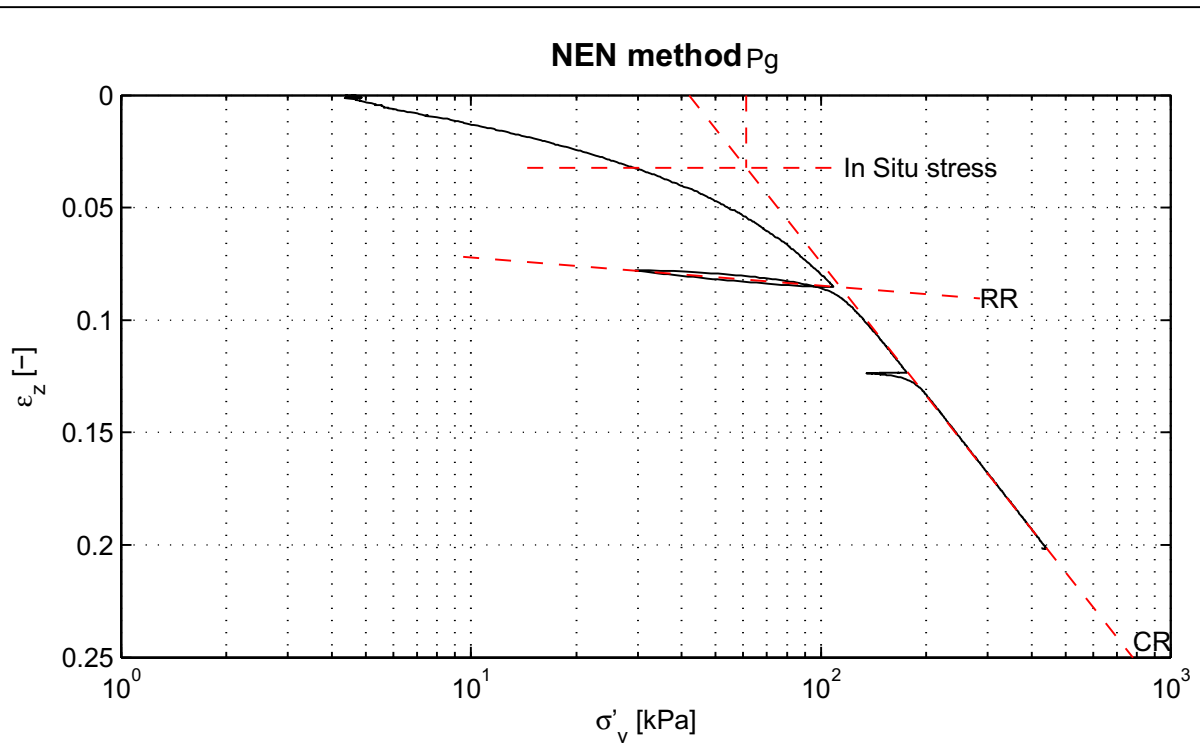
project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
CRS5A

page  
1

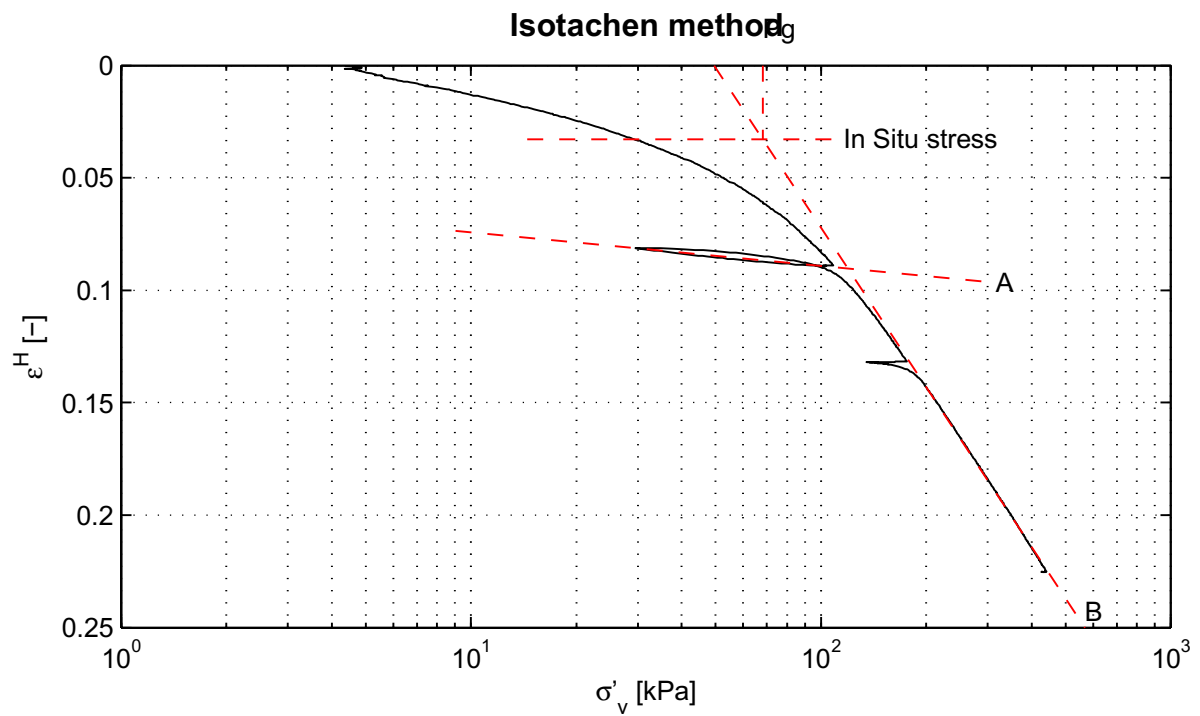




RR = 1.3e-002  
CR = 2.0e-001

$C_\alpha = 9.8e-003$

$P_g = 61.2 \text{ kPa}$



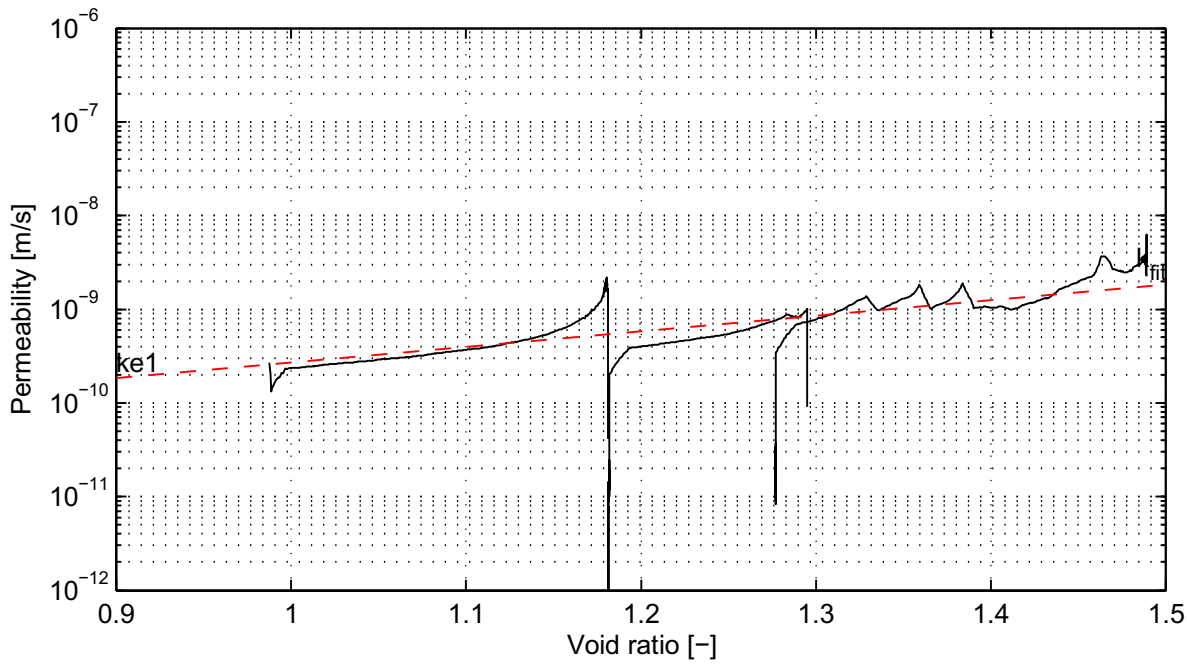
A = 6.5e-003  
B = 1.0e-001

C = 5.1e-003

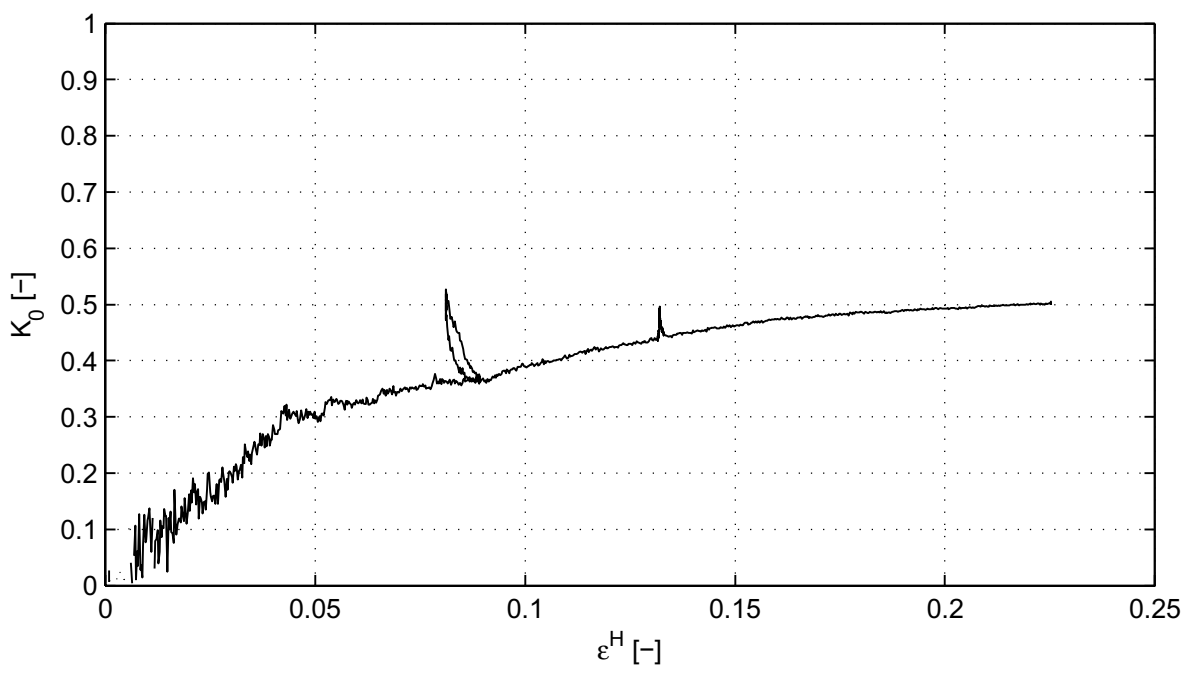
$P_g = 68.1 \text{ kPa}$

	PO Box 177, NL 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: www.deltares.nl Telefax +31 (0)15 261 0821	date 2012-05-02	signed ess	
	Doorvertaling Markermeerdijk Boring B01_Dijk23_DP64_Kruin, sample 5A, depth: -0.55 m to -0.60 m NAP <b>K0-CRS measurement</b>			project 1203768.18	seen -
				appendix CRS5A	page 2

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-04 12:08



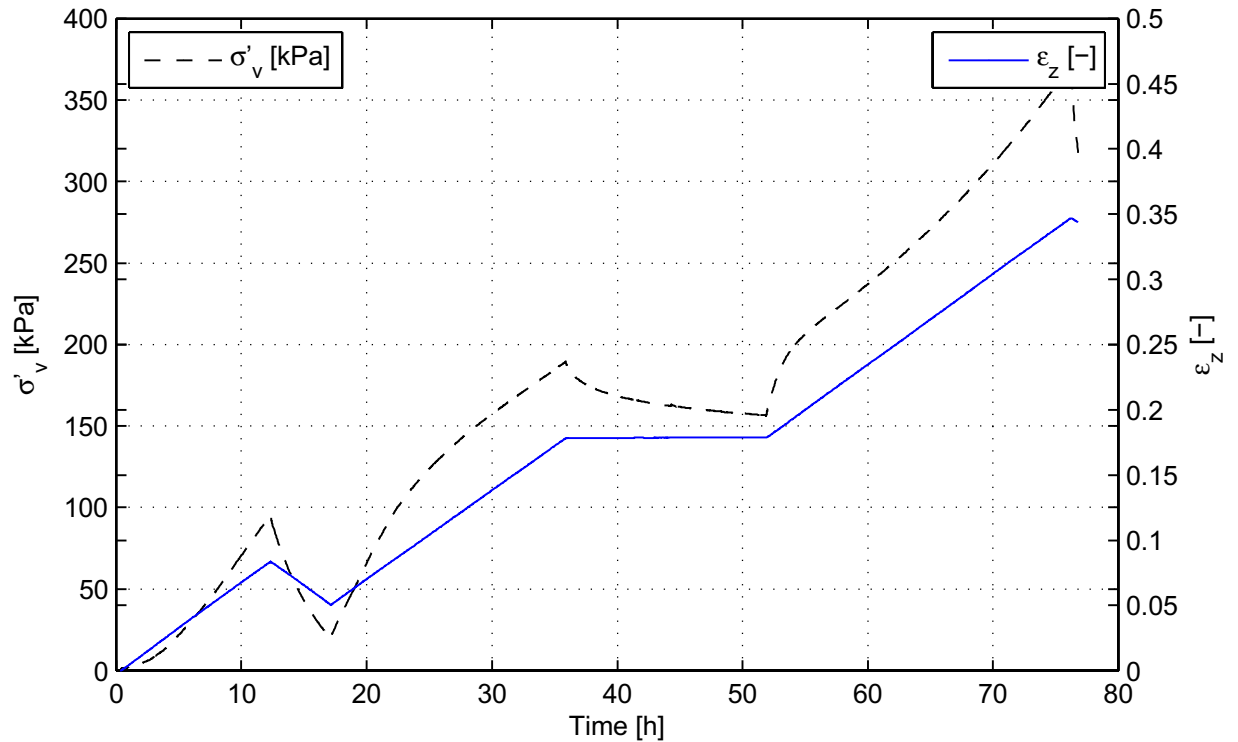
$k_{e1} = 2.7e-010$  m/s       $k_{e0} = 1.7e-009$  m/s      slope = 1.66e+000



$v = 0.31$        $K_{0m} = 0.50$        $K_{0e} = 0.50$

<b>Deltares</b> PO Box 177, NL 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: www.deltares.nl Telefax +31 (0)15 261 0821	date	signed
	2012-05-02	ess
	project	seen
Doorvertaling Markermeerdijk	1203768.18	-
Boring B01_Dijk23_DP64_Kruin, sample 5A, depth: -0.55 m to -0.60 m NAP	appendix	page
K0-CRS measurement	CRS5A	3

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-04 12:08



**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> ]	2.0
Water content [%]	384.3
Water content final [%]	350.7
Initial saturation [%]	0.92
Void ratio - initial [-]	6.80
Sample disturbance index [%]	6.2, moderate quality
sat. and e calculated with $\gamma_s$ [kN/3] of	16.0

**Test overview (test plan):**

Stress loading phase [kPa]	100
Stress unloading phase [kPa]	20
Stress reloading phase [kPa]	200
Stress relaxation phase [kPa]	200
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

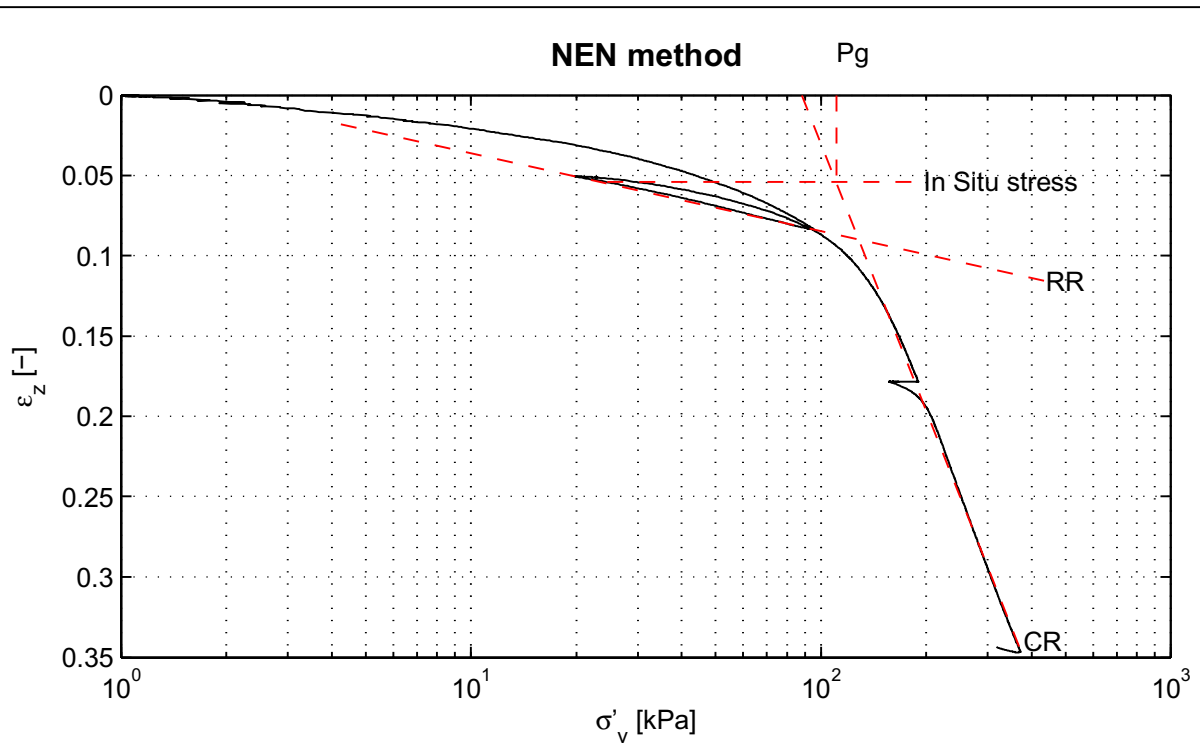
date  
2012-05-02

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 10BA, depth: -4.85 m to -4.90 m NAP  
K0-CRS measurement

project  
1203768.18  
appendix  
CRS10BA

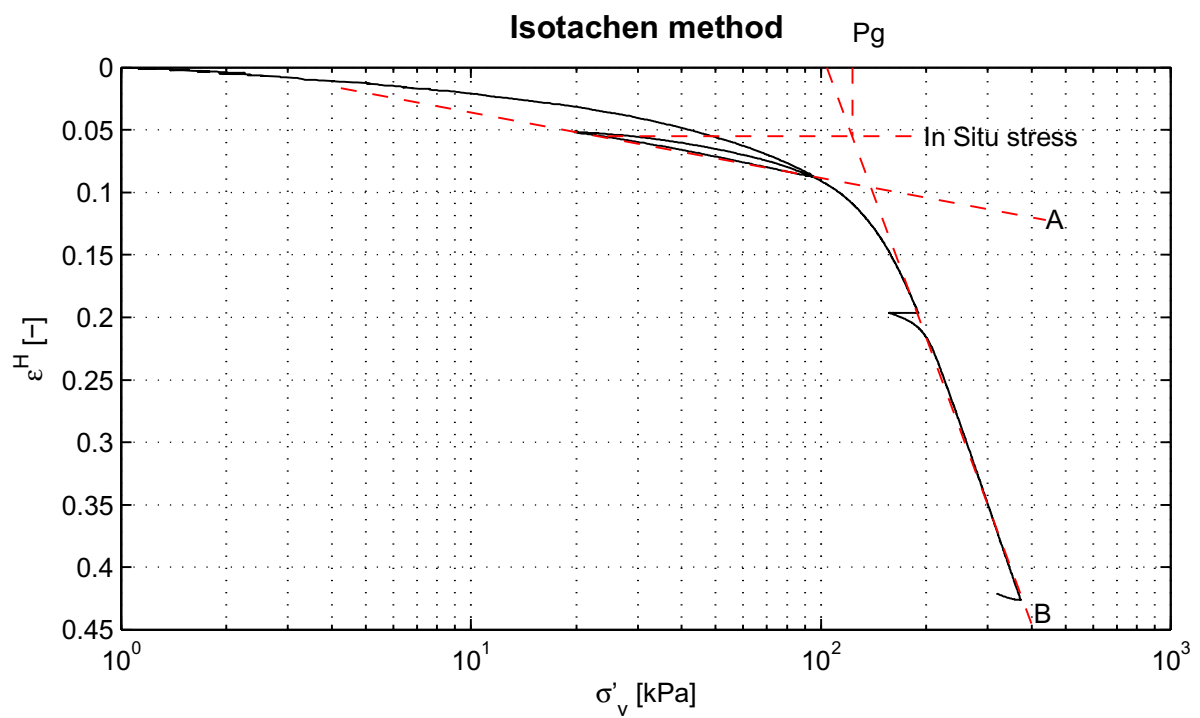
seen  
-  
page  
1



RR = 4.9e-002  
CR = 5.5e-001

$C_\alpha = 3.1e-002$

Pg = 110.5 kPa



A = 2.3e-002  
B = 3.3e-001

C = 1.8e-002

Pg = 123.1 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  
2012-05-02

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 10BA, depth: -4.85 m to -4.90 m NAP

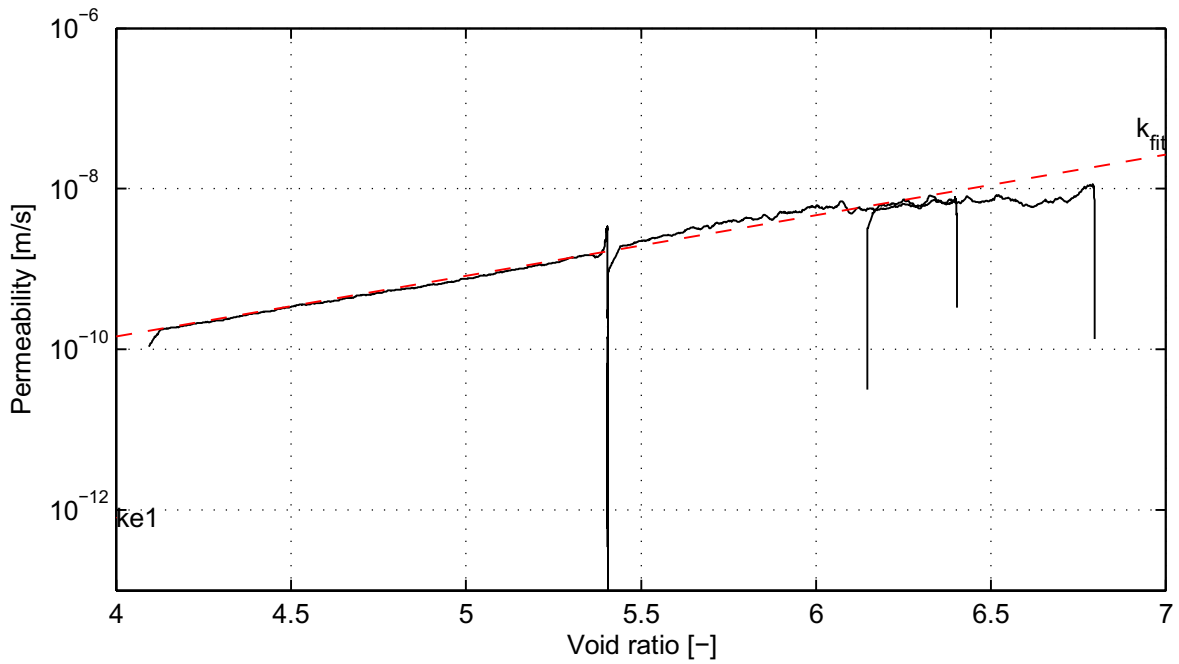
K0-CRS measurement

project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
CRS10BA

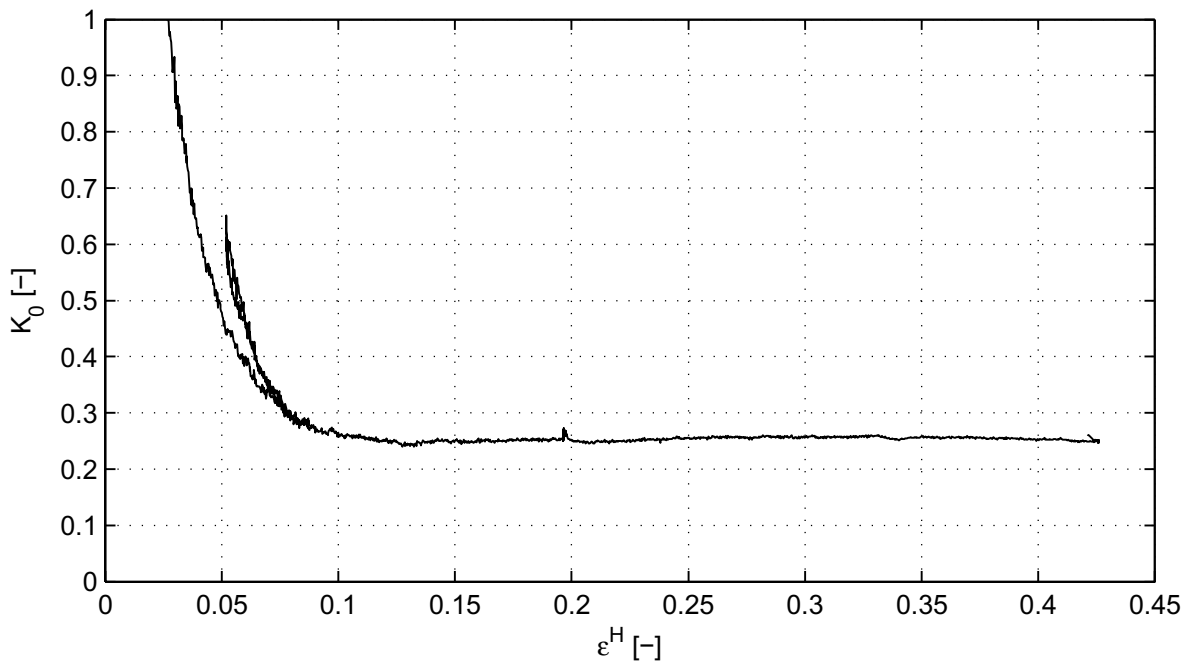
page  
2



$k_{e1} = 8.0e-013 \text{ m/s}$

$k_{e0} = 1.9e-008 \text{ m/s}$

slope =  $7.53e-001$



$v = 0.18$

$K_{0c} = 0.26$

$K_{0e} = 0.25$

**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  
2012-05-02

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk23\_DP64\_Kruin, sample 10BA, depth: -4.85 m to -4.90 m NAP

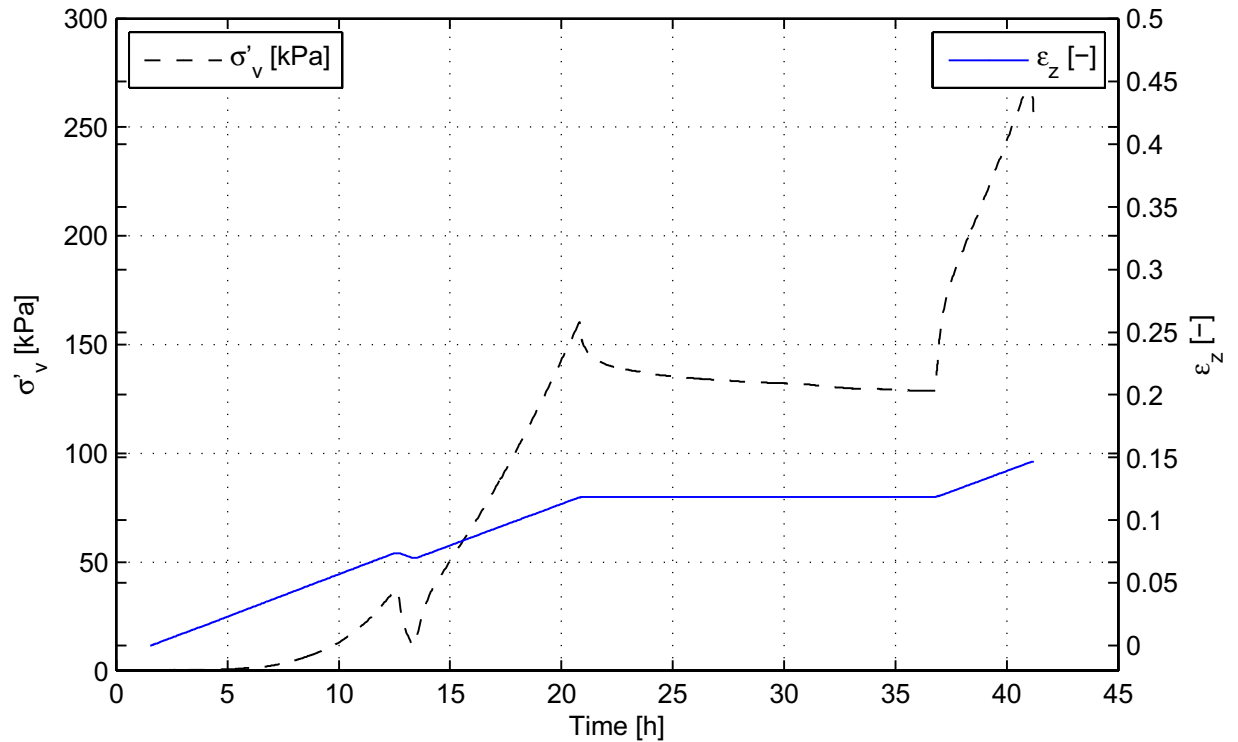
**K0-CRS measurement**

project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
CRS10BA

page  
3



**Description of soil sample:**

Soil description (NEN 5104)	Klei, zwak siltig
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	15.4
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	10.0
Water content [%]	53.8
Water content final [%]	48.0
Initial saturation [%]	0.88
Void ratio - initial [-]	1.63
Sample disturbance index [%]	11.2, bad quality
sat. and e calculated with $\gamma_s$ [kN/3] of	26.3

**Test overview (test plan):**

Stress loading phase [kPa]	45
Stress unloading phase [kPa]	16
Stress reloading phase [kPa]	179
Stress relaxation phase [kPa]	180
Maximum stress [kPa]	300

**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

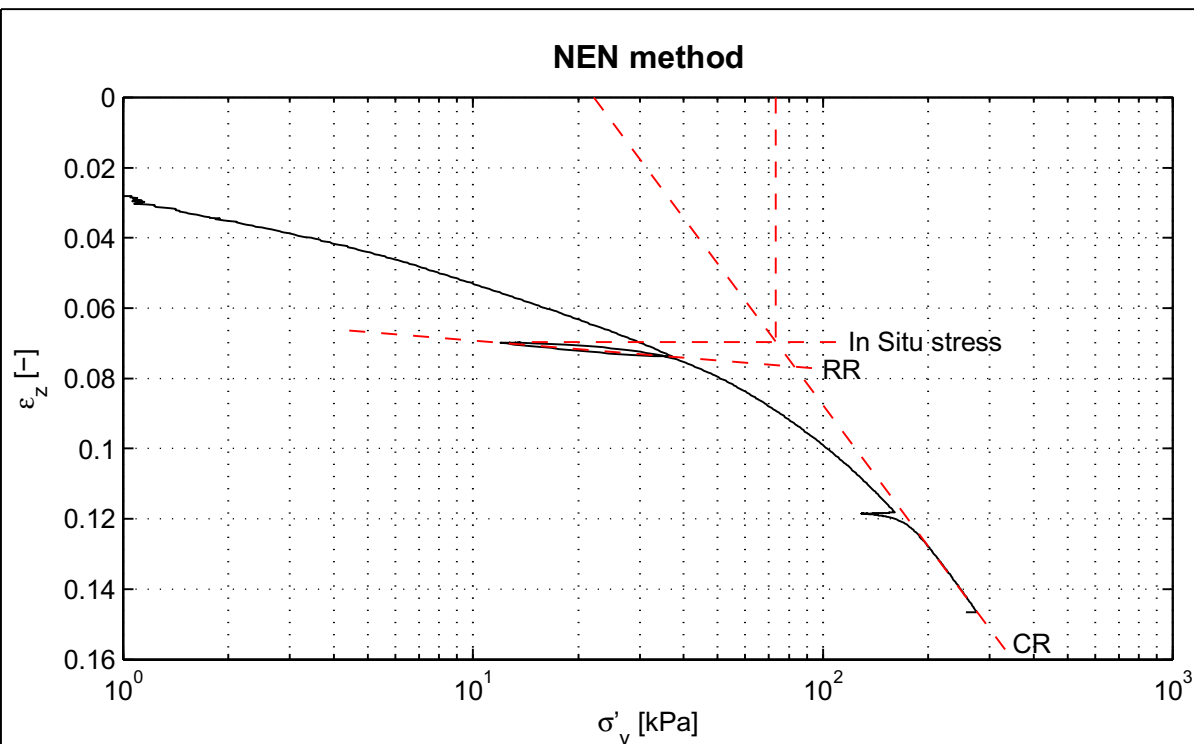
date  
2012-05-02

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15AB, depth: 0.59 m to 0.54 m NAP  
K0-CRS measurement

project  
1203768.18  
appendix  
CRS15AB

seen  
-  
page  
1

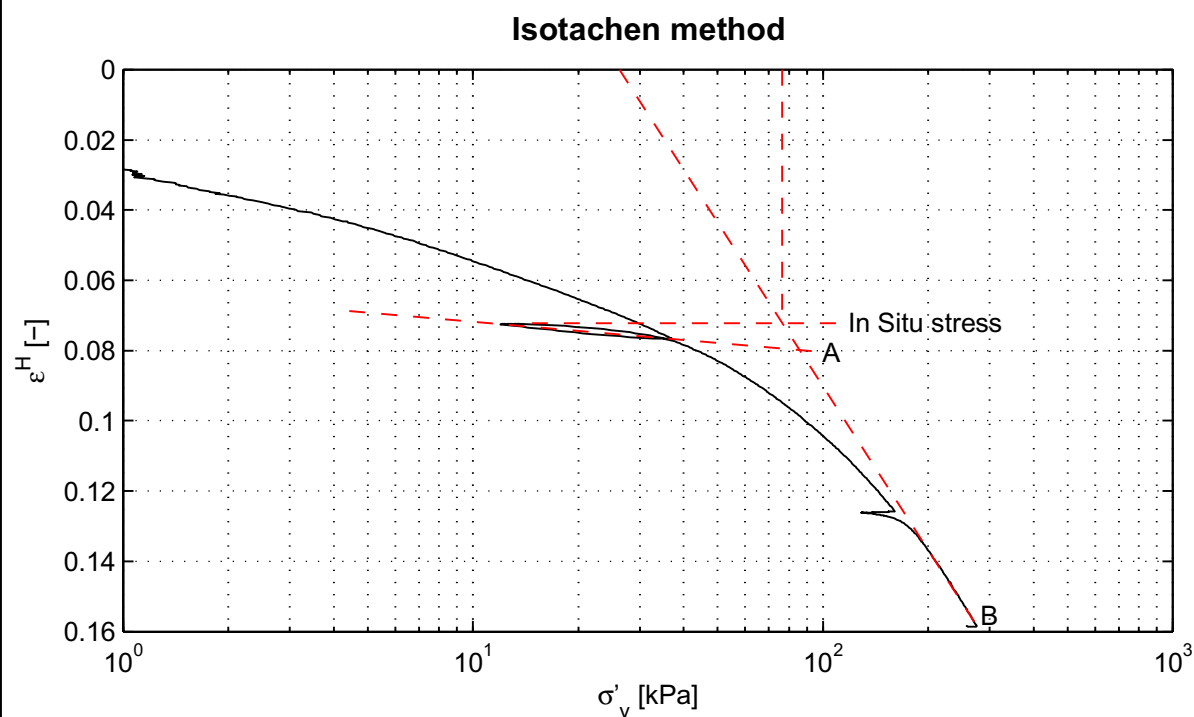


RR =  $8.1e-003$   
CR =  $1.3e-001$

$C_\alpha = 4.7e-003$

$P_g = 73.4$  kPa

Pg



A =  $3.8e-003$   
B =  $6.7e-002$

C =  $2.4e-003$

$P_g = 76.5$  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  
2012-05-02

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15AB, depth: 0.59 m to 0.54 m NAP

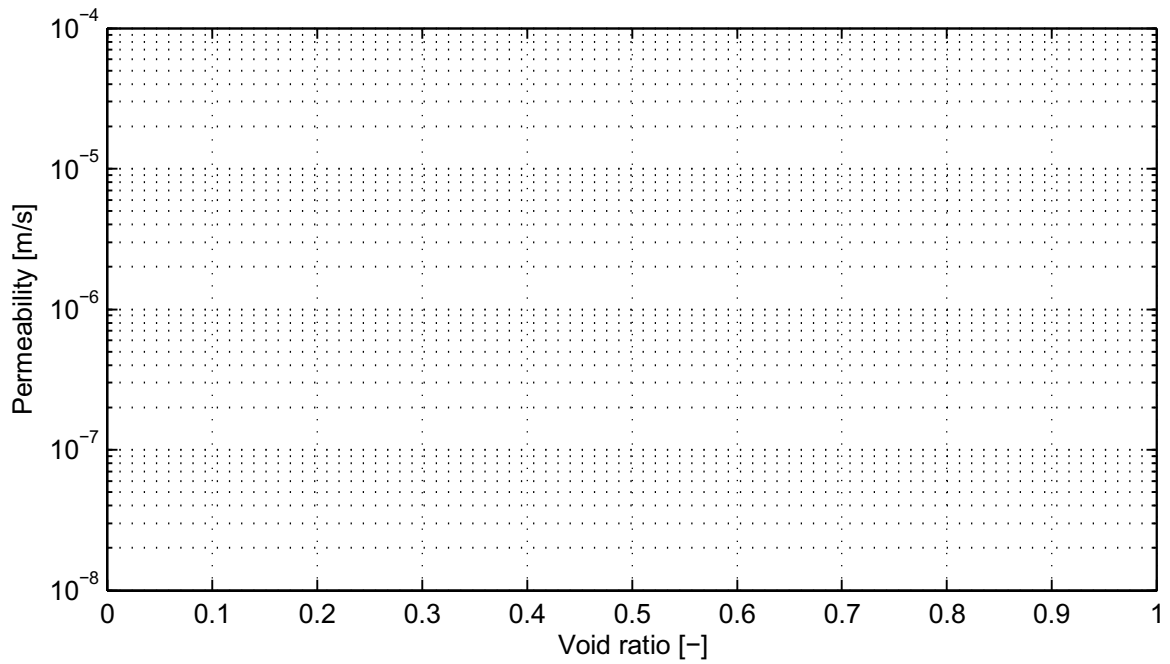
K0-CRS measurement

project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
CRS15AB

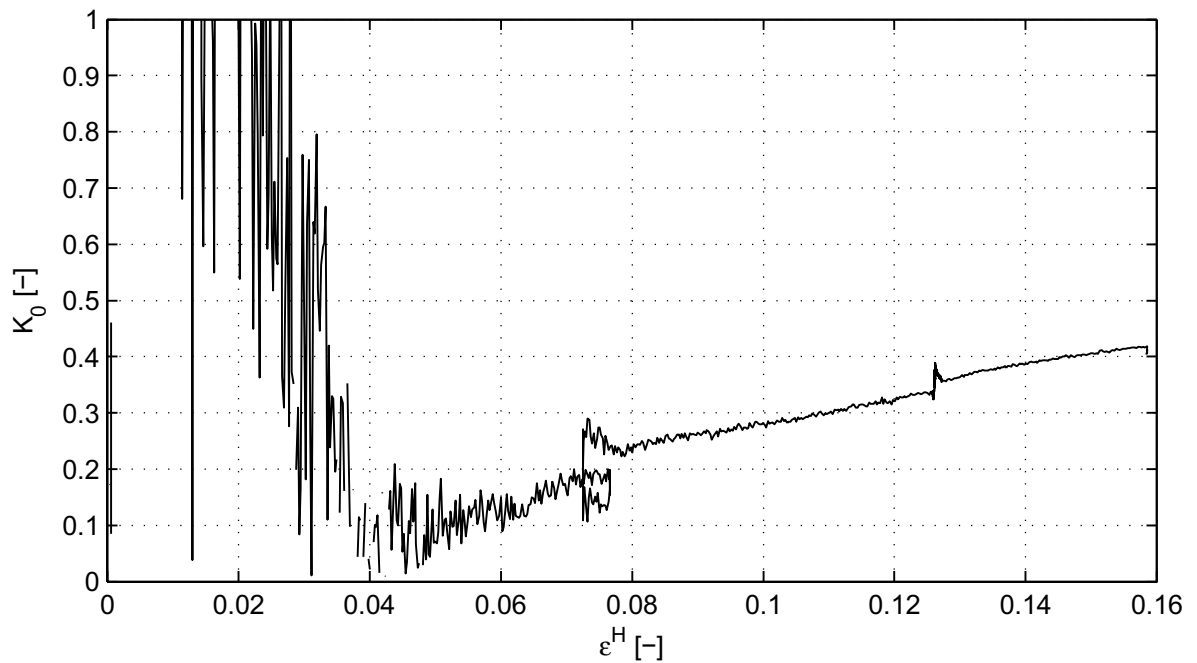
page  
2



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

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

slope = -



$v = 0.19$

$K_{0c} = 0.41$

$K_{0e} = 0.41$

**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  
2012-05-02

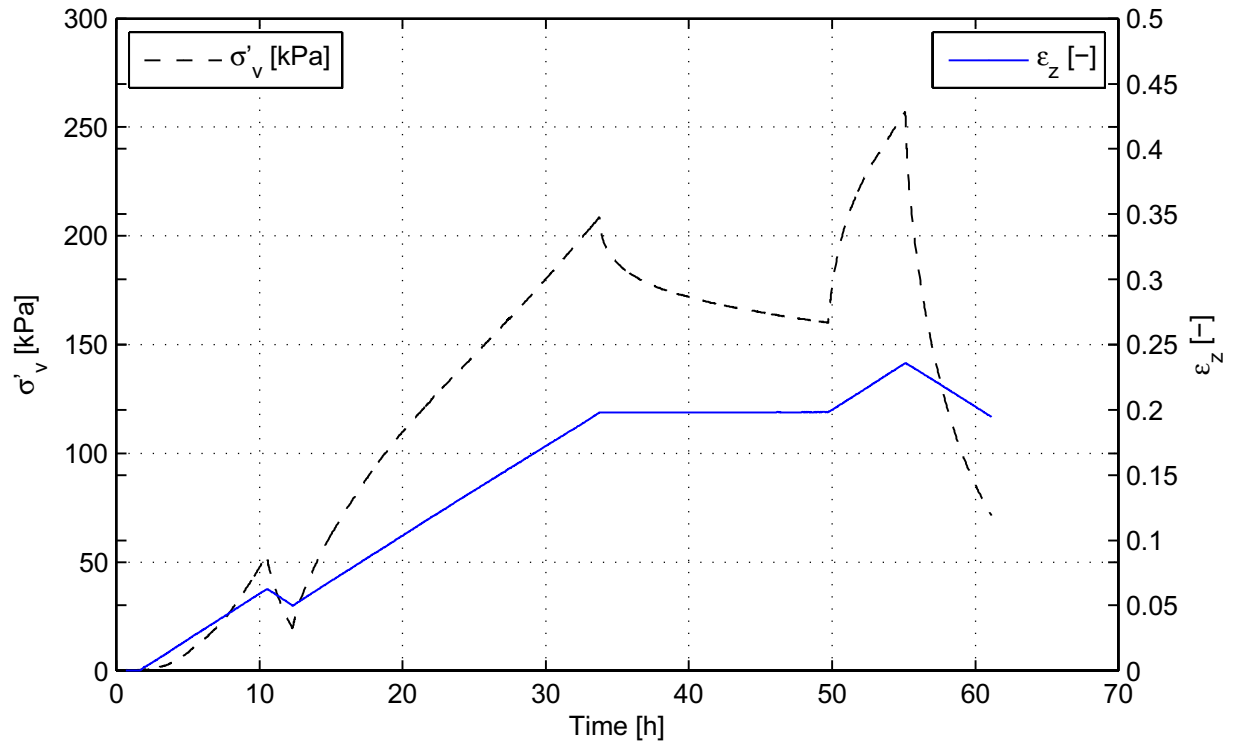
signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 15AB, depth: 0.59 m to 0.54 m NAP  
**K0-CRS measurement**

project  
1203768.18  
appendix  
CRS15AB

seen  
-  
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> ]	3.5
Water content [%]	211.7
Water content final [%]	181.9
Initial saturation [%]	0.94
Void ratio - initial [-]	3.90
Sample disturbance index [%]	6.8, moderate quality
sat. and e calculated with $\gamma_s$ [kN/3] of	16.9

#### Test overview (test plan):

Stress loading phase [kPa]	60
Stress unloading phase [kPa]	20
Stress reloading phase [kPa]	239
Stress relaxation phase [kPa]	240
Maximum stress [kPa]	300

**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  
2012-05-01

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 17EA, depth: -2.16 m to -2.23 m NAP

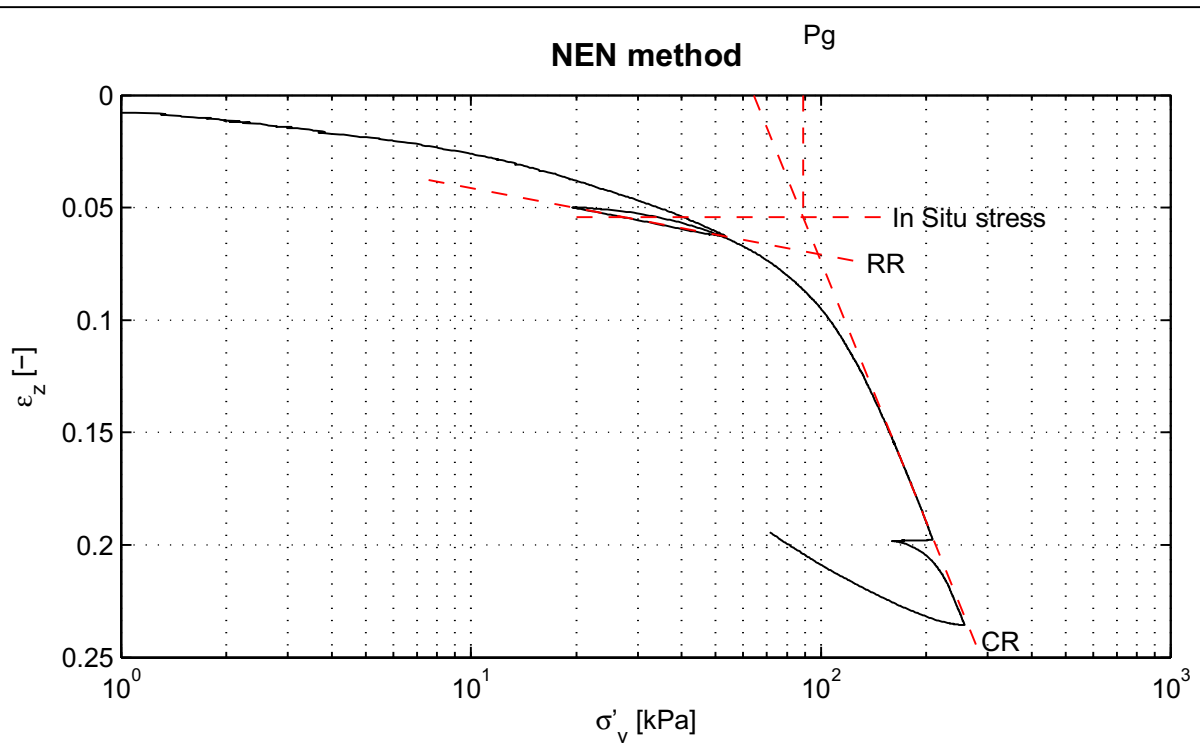
K0-CRS measurement

project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
CRS17EA

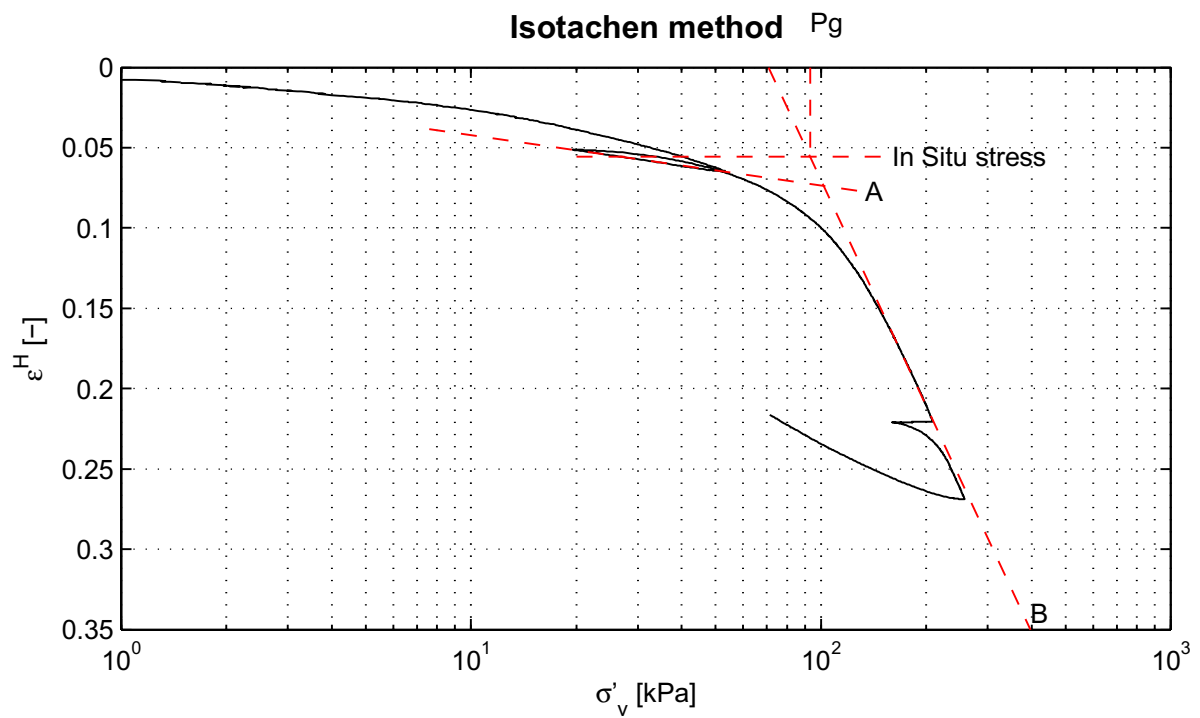
page  
1



RR = 3.0e-002  
CR = 3.9e-001

$C_\alpha = 2.5e-002$

Pg = 88.9 kPa



A = 1.4e-002  
B = 2.0e-001

C = 1.3e-002

Pg = 93.2 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  
2012-05-01

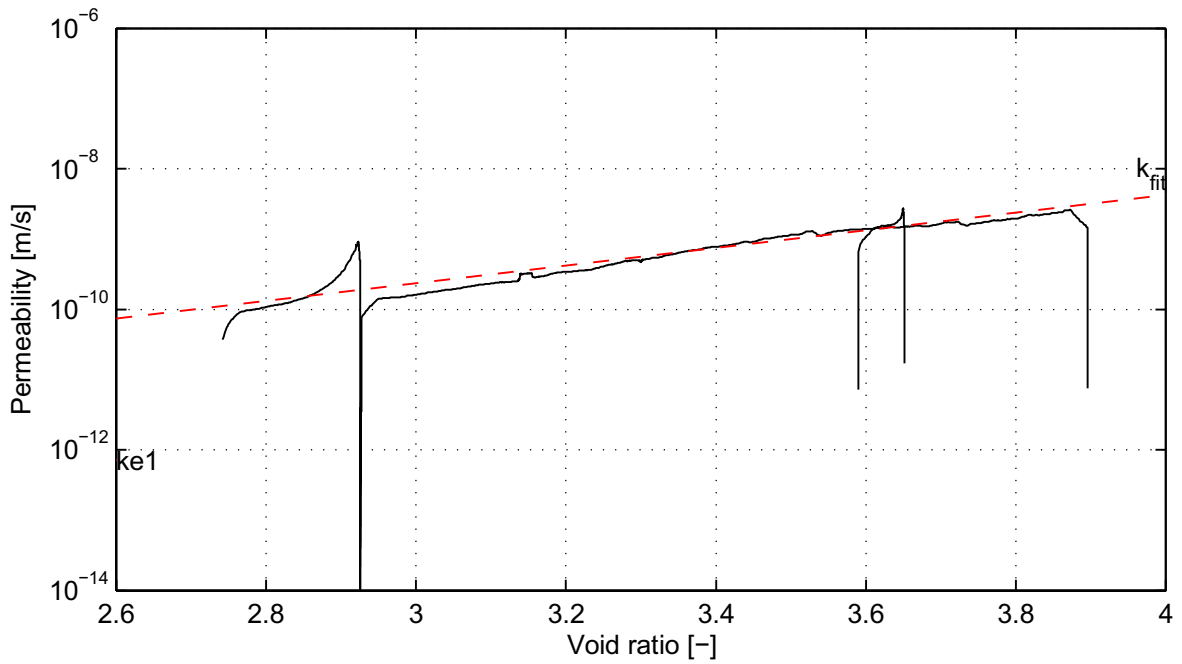
signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 17EA, depth: -2.16 m to -2.23 m NAP  
K0-CRS measurement

project  
1203768.18  
appendix  
CRS17EA

seen  
-  
page  
2

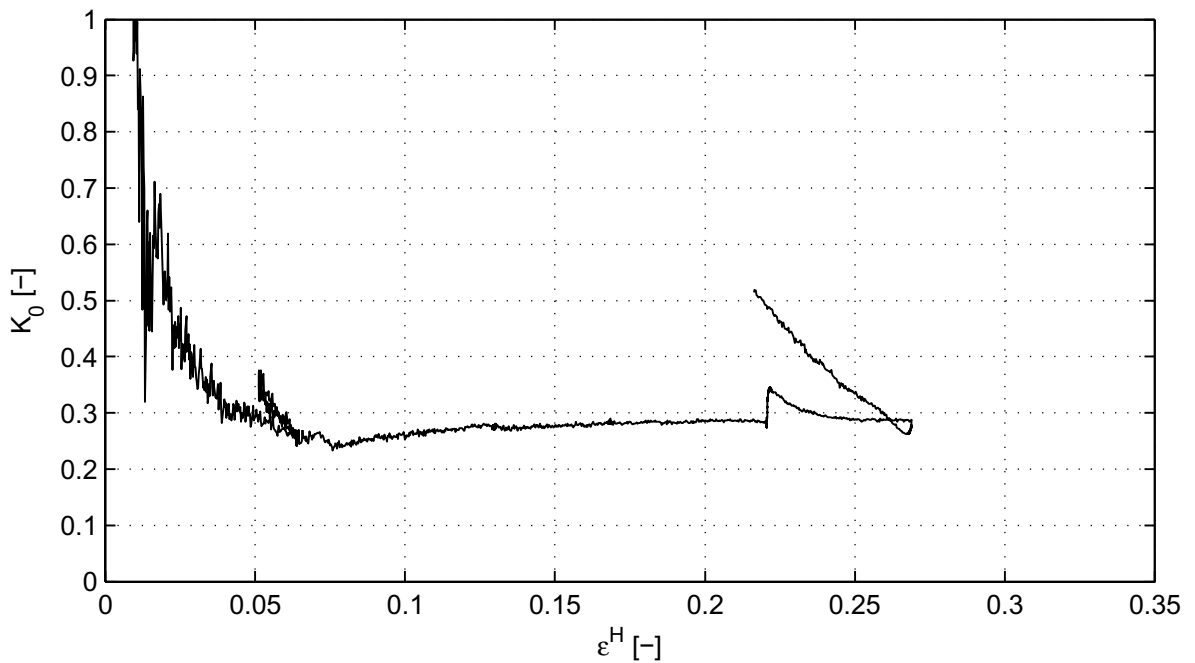
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-04 12:19



$k_{e1} = 7.1e-013 \text{ m/s}$

$k_{e0} = 3.1e-009 \text{ m/s}$

slope =  $1.26e+000$



$v = 0.22$

$K_{0c} = 0.29$

$K_{0e} = 0.29$

**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  
2012-05-01

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk20\_DP34\_Kruin, sample 17EA, depth: -2.16 m to -2.23 m NAP

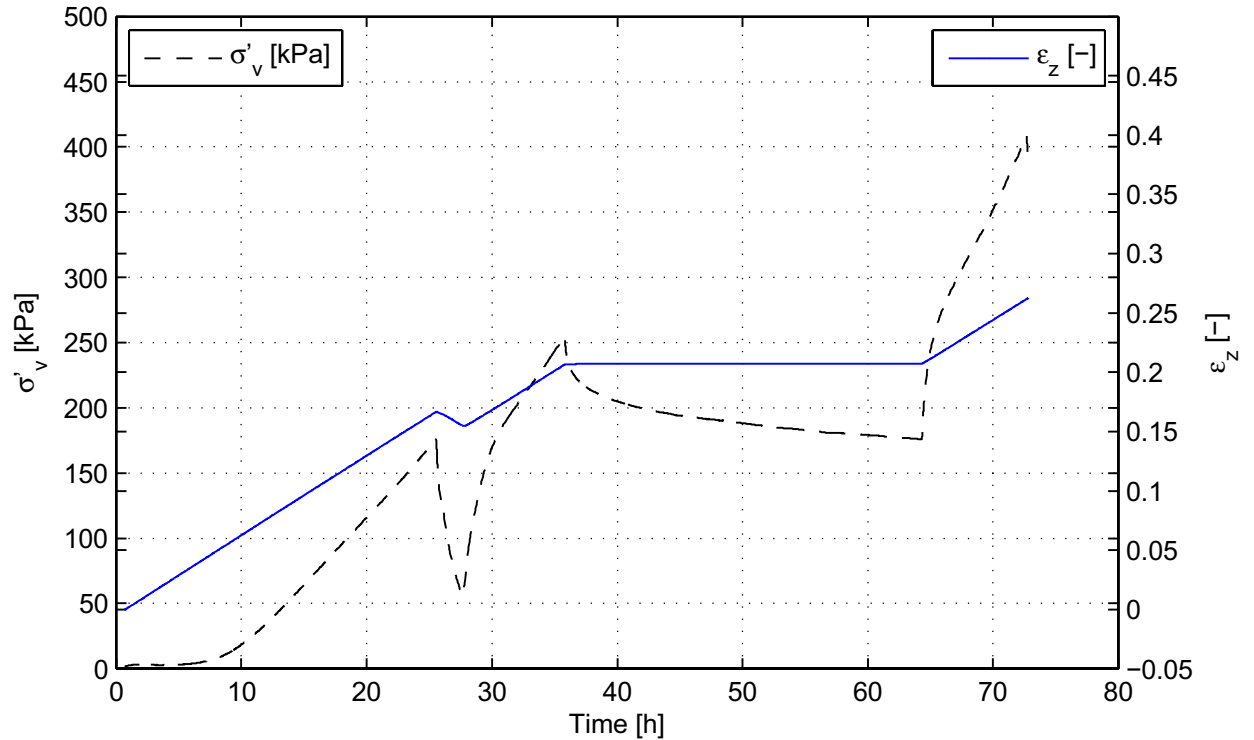
**K0-CRS measurement**

project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
CRS17EA

page  
3



#### Description of soil sample:

Soil description (NEN 5104)	Klei, matig siltig, sterk h..
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	12.4
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	6.0
Water content [%]	106.7
Water content final [%]	82.8
Initial saturation [%]	0.85
Void ratio - initial [-]	3.33
Sample disturbance index [%]	11.5, bad quality
sat. and e calculated with $\gamma_s$ [kN/3] of	25.9

#### Test overview (test plan):

Stress loading phase [kPa]	199
Stress unloading phase [kPa]	51
Stress reloading phase [kPa]	299
Stress relaxation phase [kPa]	300
Maximum stress [kPa]	500

**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  
2012-05-02

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 51D, depth: -2.63 m to -2.68 m NAP

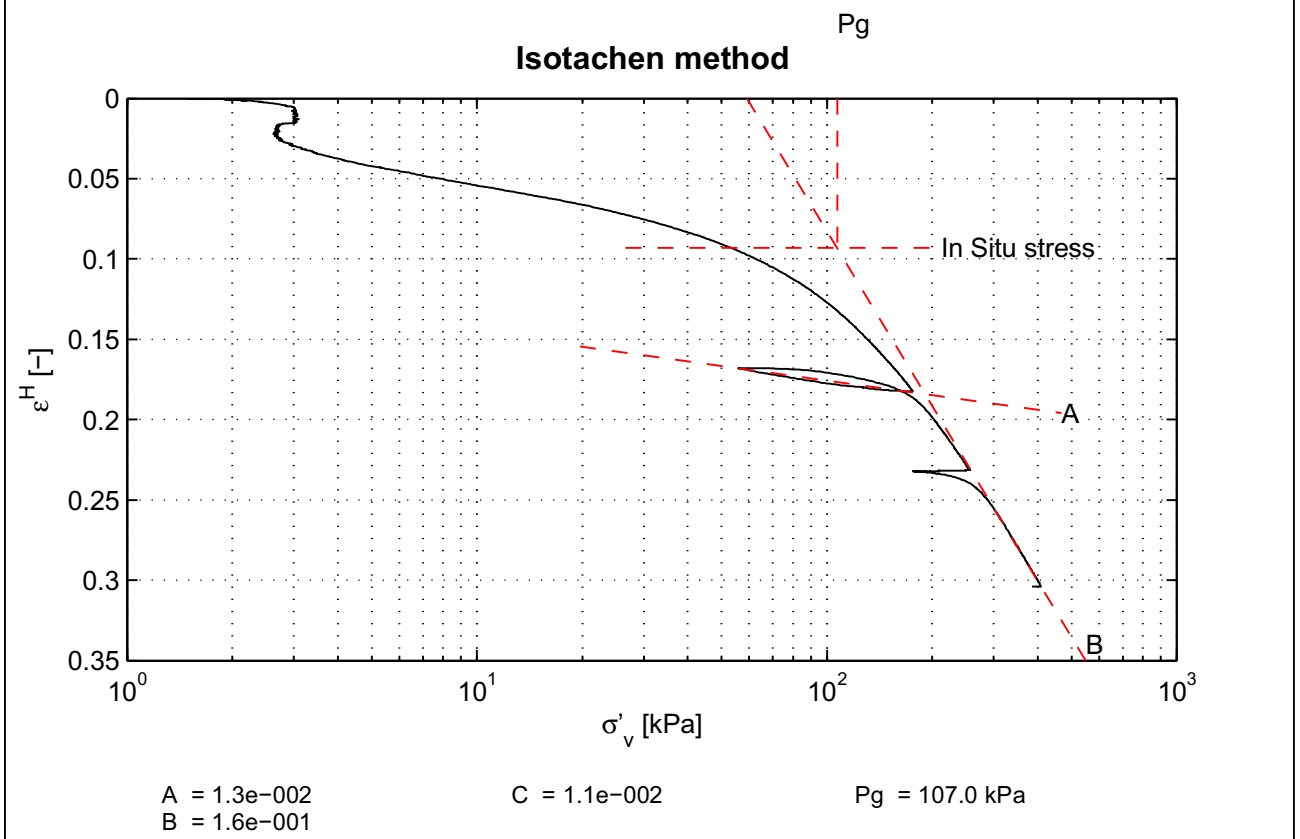
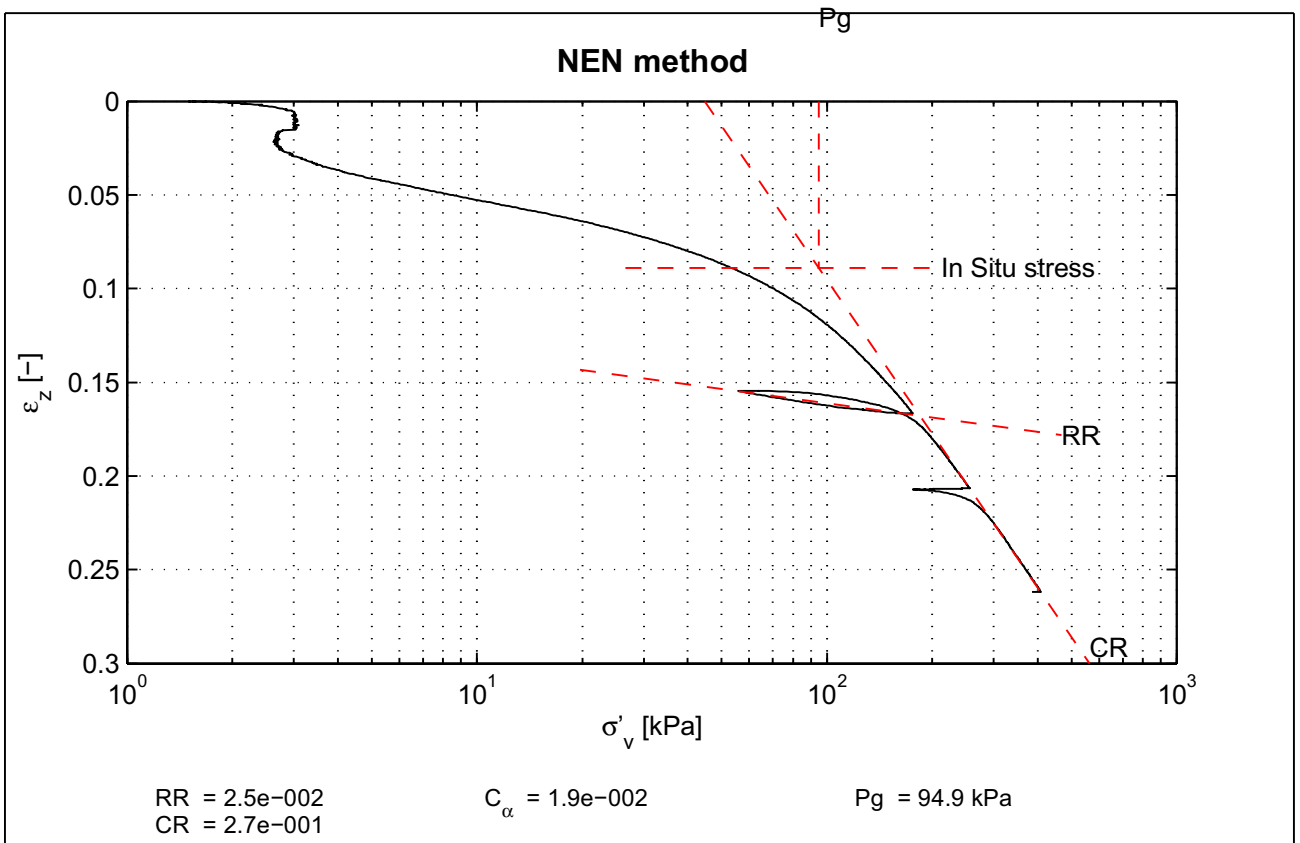
project  
1203768.18

seen  
-

K0-CRS measurement

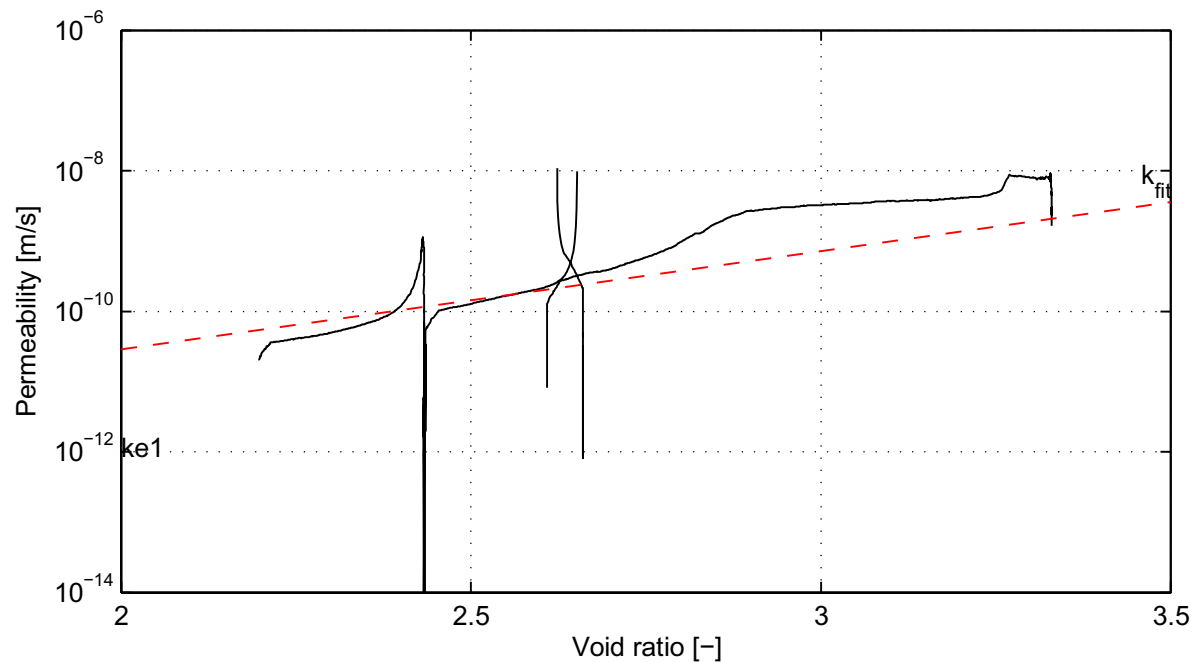
appendix  
CRS51D

page  
1



<b>Deltares</b> PO Box 177, NL 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: www.deltares.nl	date 2012-05-02	signed ess	
	Doorvertaling Markermeerdijk Boring B01_Dijk28_DP63_Kruin, sample 51D, depth: -2.63 m to -2.68 m NAP		project 1203768.18	seen -
	<b>K0-CRS measurement</b>		appendix CRS51D	page 2

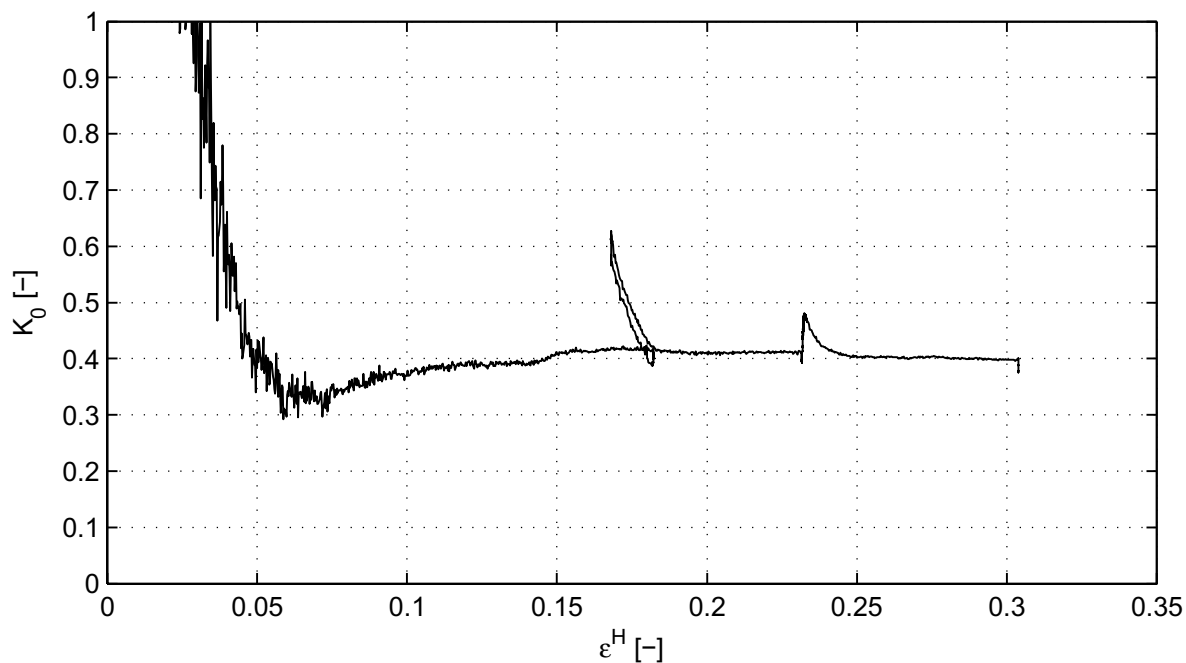
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-04 12:05



$k_{e1} = 1.1e-012 \text{ m/s}$

$k_{e0} = 2.1e-009 \text{ m/s}$

slope =  $1.40e+000$



$v = 0.34$

$K_{0c} = 0.41$

$K_{0e} = 0.40$

**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  
2012-05-02

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 51D, depth: -2.63 m to -2.68 m NAP

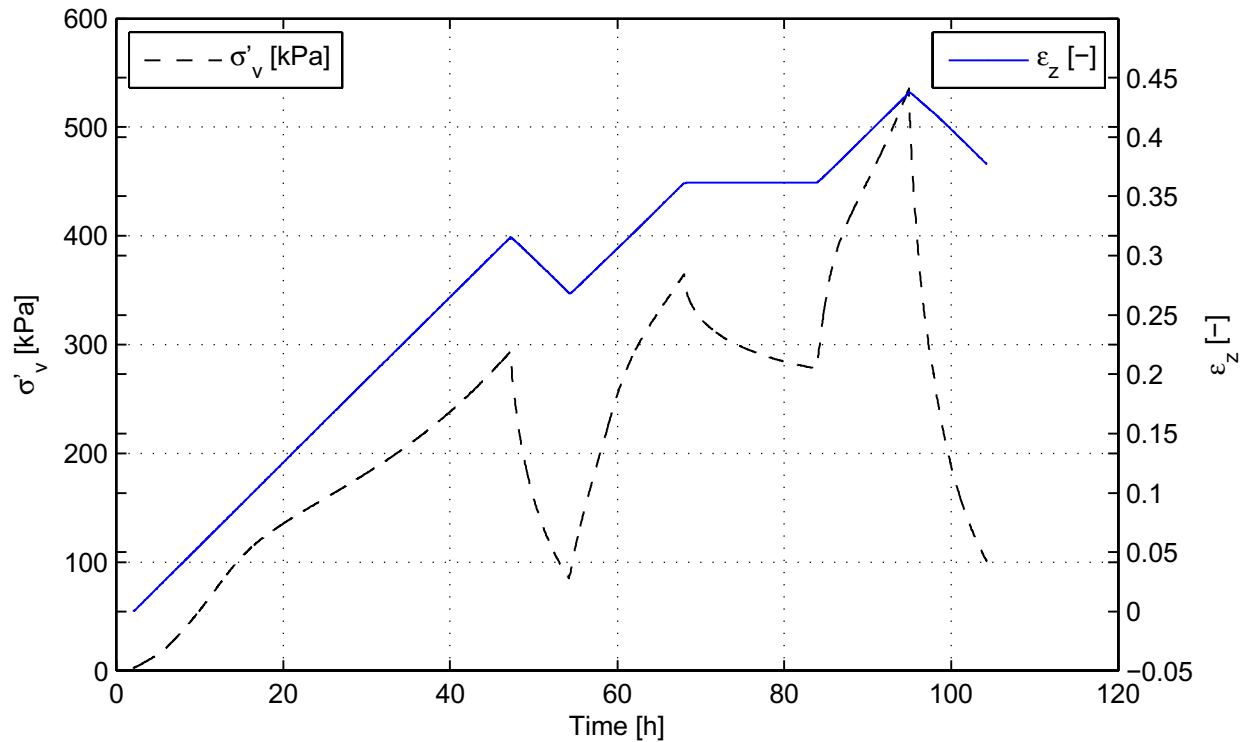
**K0-CRS measurement**

project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
CRS51D

page  
3



**Description of soil sample:**

Soil description (NEN 5104)	Veen, mineraalarm
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	10.4
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	2.2
Water content [%]	365.1
Water content final [%]	251.3
Initial saturation [%]	0.96
Void ratio - initial [-]	6.59
Sample disturbance index [%]	7.9, bad quality
sat. and e calculated with $\gamma_s$ [kN/3] of	16.9

**Test overview (test plan):**

Stress loading phase [kPa]	320
Stress unloading phase [kPa]	80
Stress reloading phase [kPa]	399
Stress relaxation phase [kPa]	400
Maximum stress [kPa]	600

**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

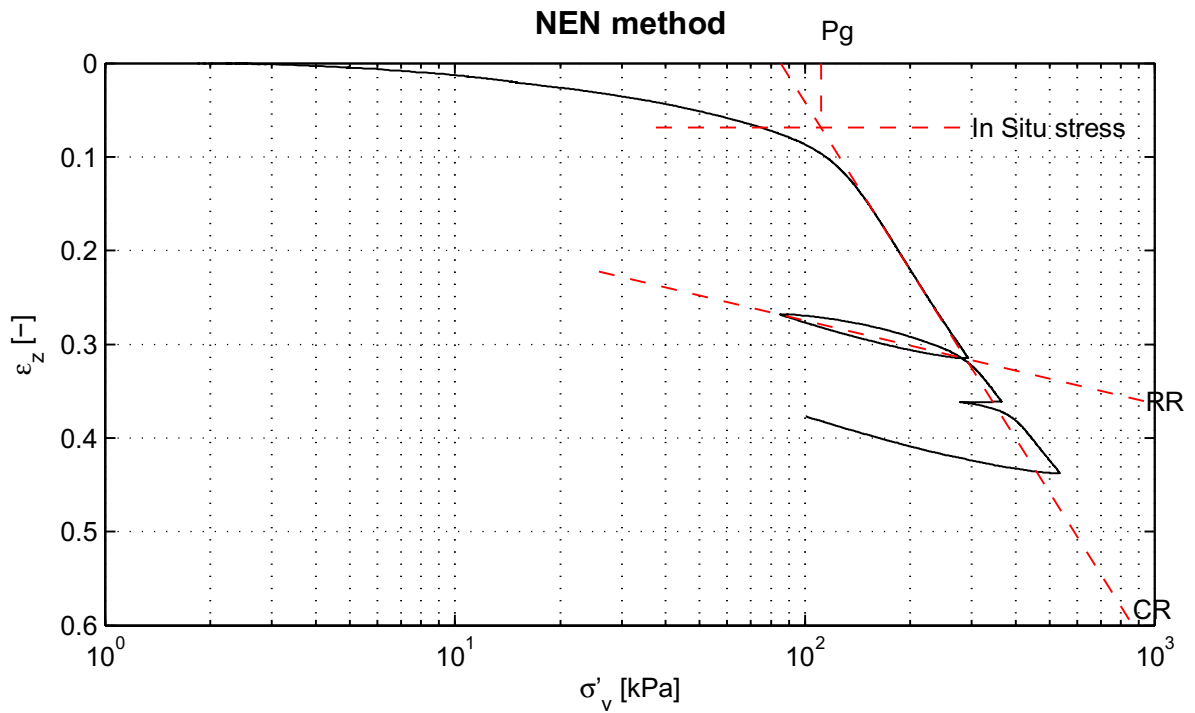
date  
2012-05-08

signed  
Ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 55AB, depth: -5.79 m to -5.84 m NAP  
K0-CRS measurement

project  
1203768.18  
appendix  
CRS55AB

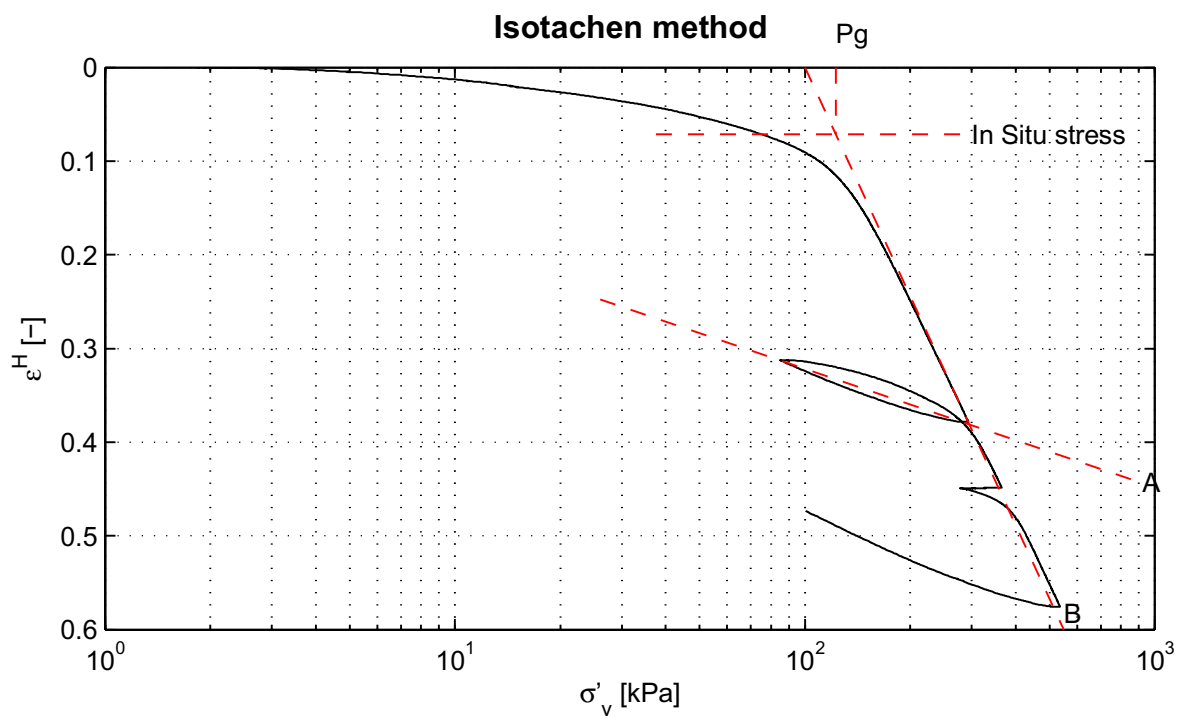
seen  
-  
page  
1



RR = 8.9e-002  
CR = 6.0e-001

$C_\alpha = 4.8e-002$

$P_g = 111.3$  kPa



A = 5.5e-002  
B = 3.5e-001

C = 2.8e-002

$P_g = 122.4$  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  
2012-05-08

signed  
Ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 55AB, depth: -5.79 m to -5.84 m NAP

K0-CRS measurement

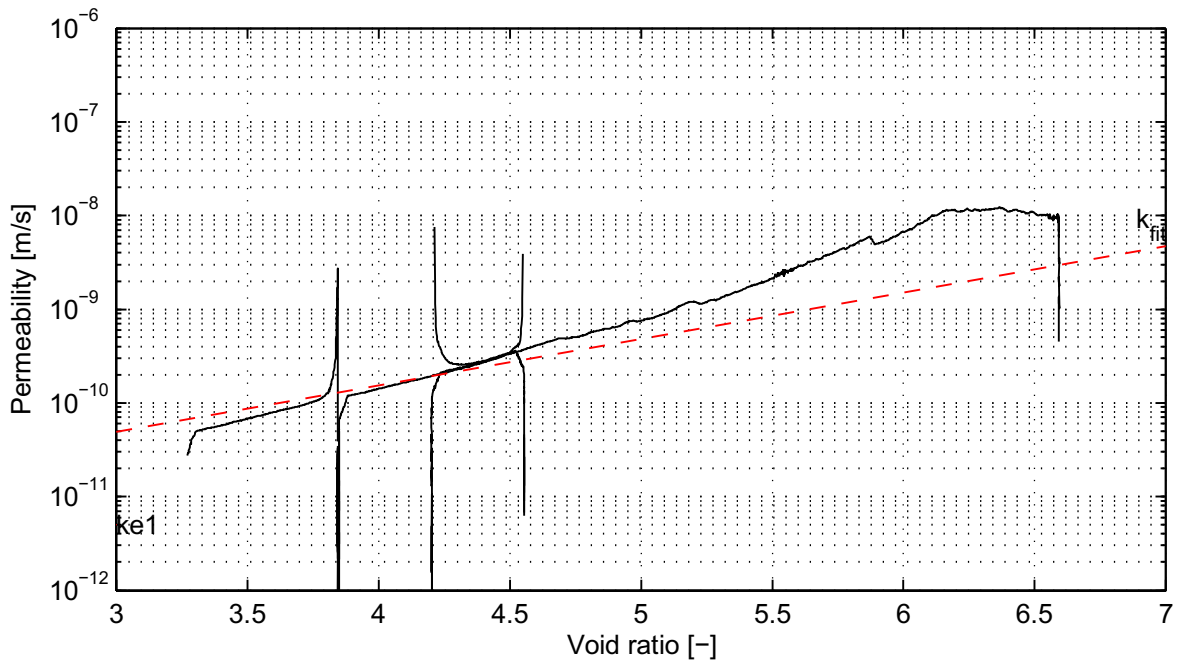
project  
1203768.18

seen  
-

appendix  
CRS55AB

page  
2

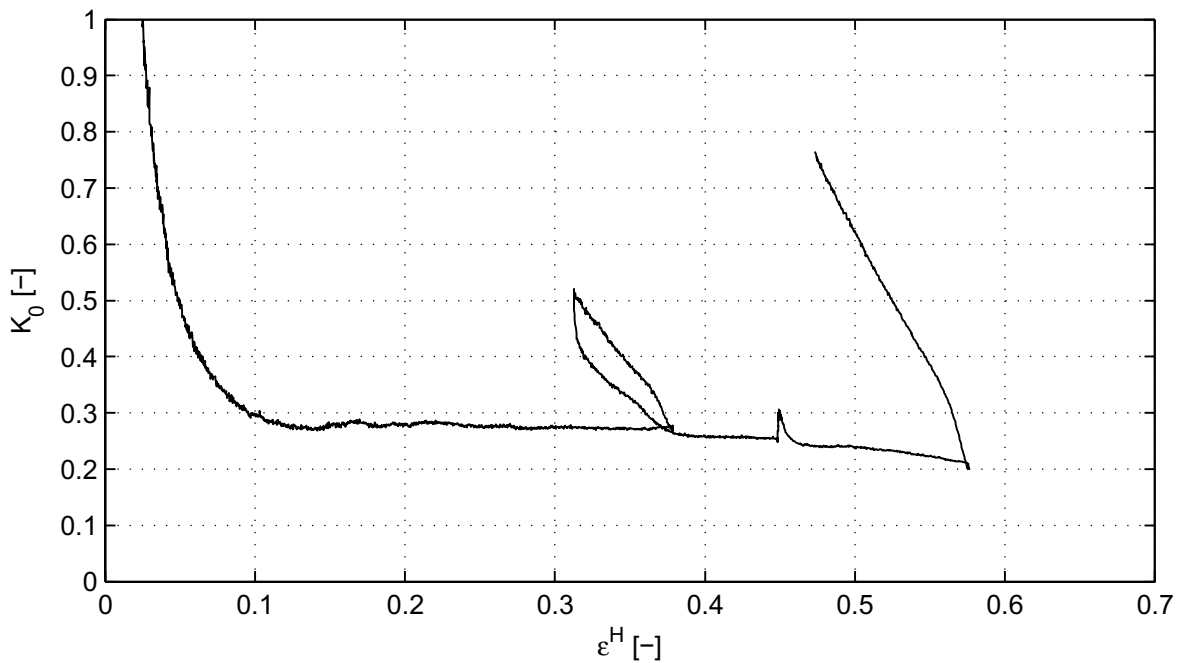




$k_{e1} = 5.0e-012 \text{ m/s}$

$k_{e0} = 3.0e-009 \text{ m/s}$

slope =  $4.97e-001$



$v = 0.18$

$K_{0c} = 0.27$

$K_{0e} = 0.21$

**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

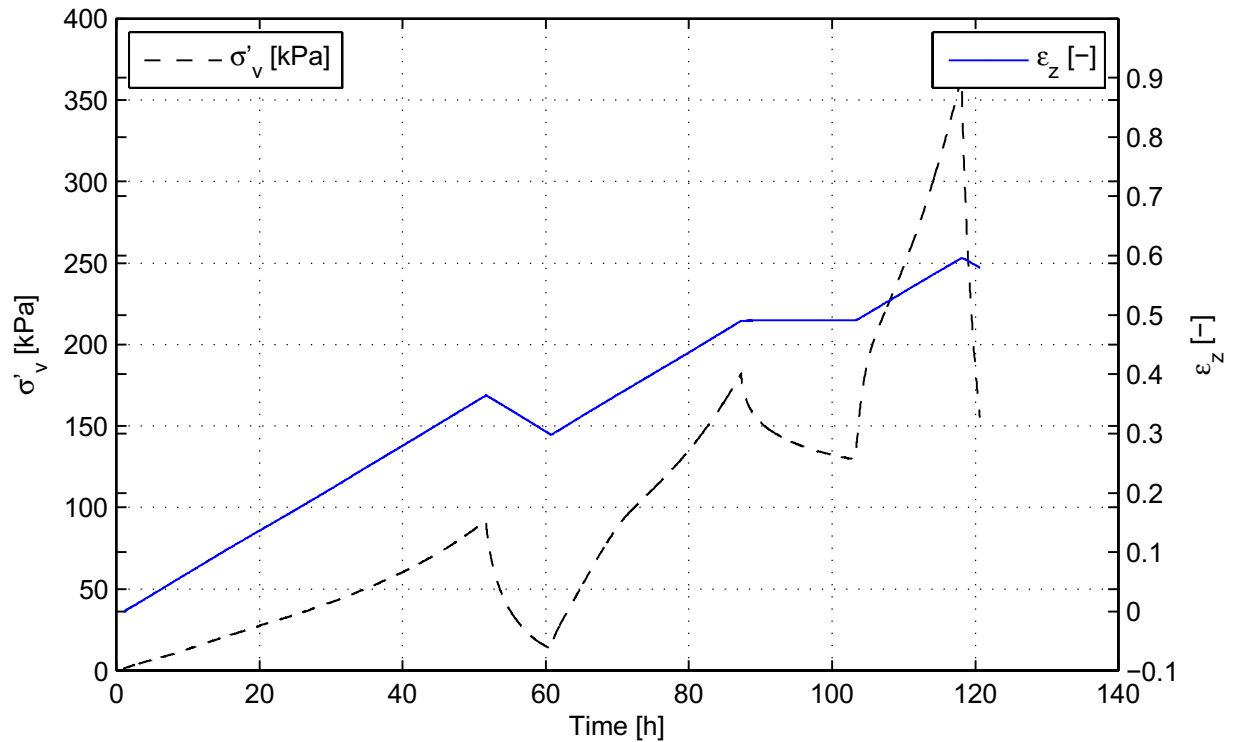
signed  
Ess

Doorvertaling Markermeerdijk  
Boring B01\_Dijk28\_DP63\_Kruin, sample 55AB, depth: -5.79 m to -5.84 m NAP  
**K0-CRS measurement**

project  
1203768.18  
appendix  
CRS55AB

seen  
-  
page  
3

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-15 09:55



**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> ]	1.5
Water content [%]	589.8
Water content final [%]	272.0
Initial saturation [%]	0.96
Void ratio - initial [-]	11.23
Sample disturbance index [%]	9.1, bad quality
sat. and e calculated with $\gamma_s$ [kN/3] of	17.9

**Test overview (test plan):**

Stress loading phase [kPa]	100
Stress unloading phase [kPa]	12
Stress reloading phase [kPa]	199
Stress relaxation phase [kPa]	200
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  
2012-05-02

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk28\_DP63\_Achterland, sample 63AB, depth: -5.56 m to -5.61 m NAP

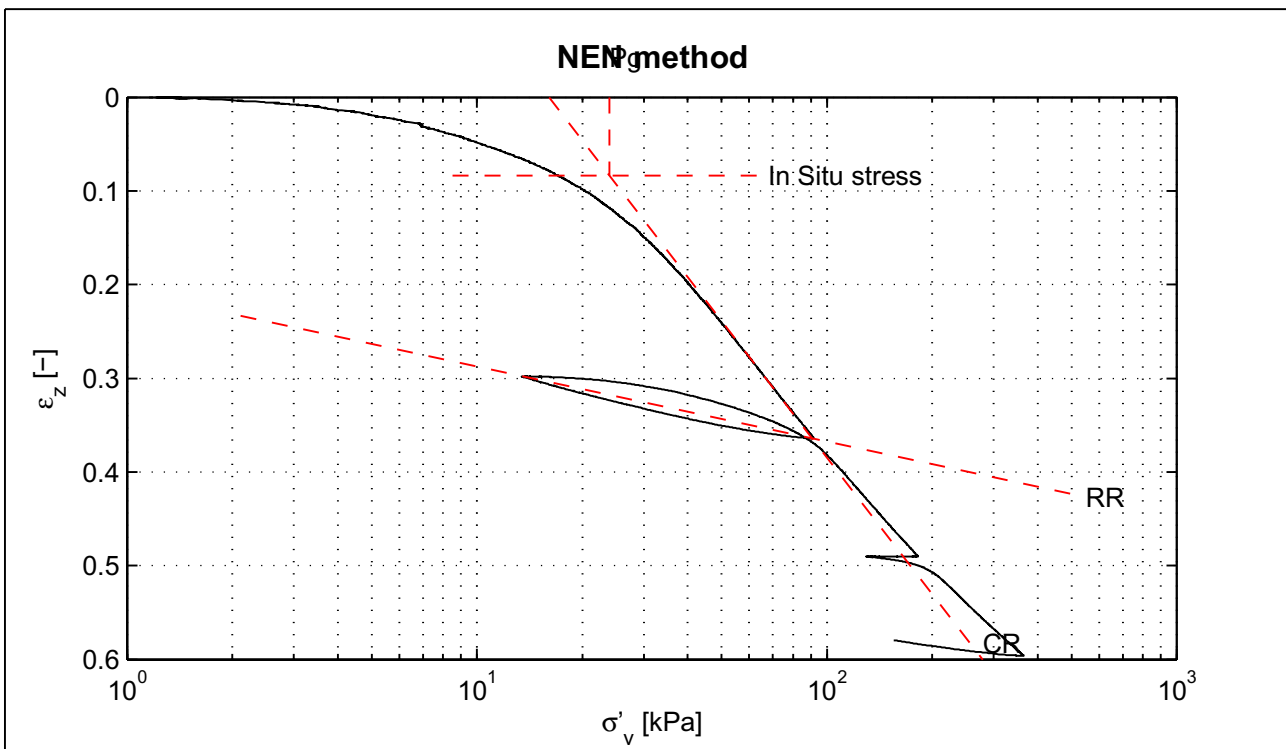
K0-CRS measurement

project  
1203768.18

appendix  
CRS63AB

seen  
-

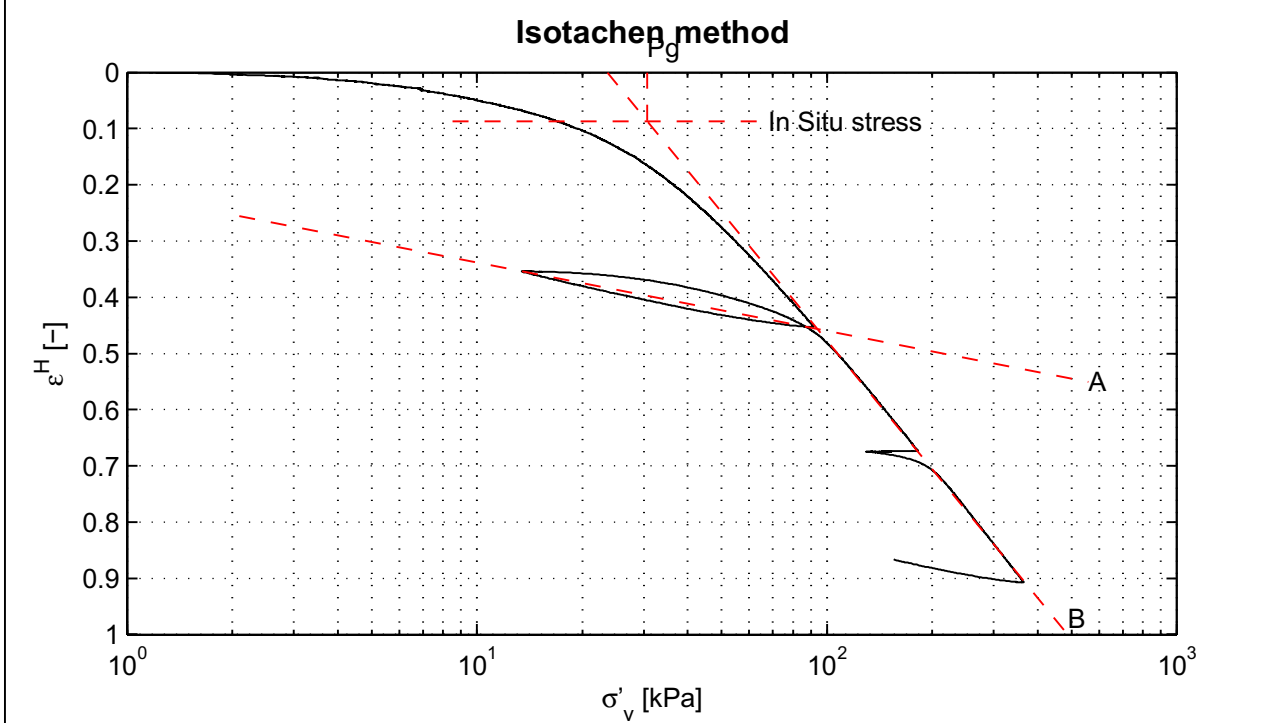
page  
1



RR = 8.0e-002  
CR = 4.8e-001

$C_\alpha = 4.7e-002$


$P_g = 23.9 \text{ kPa}$



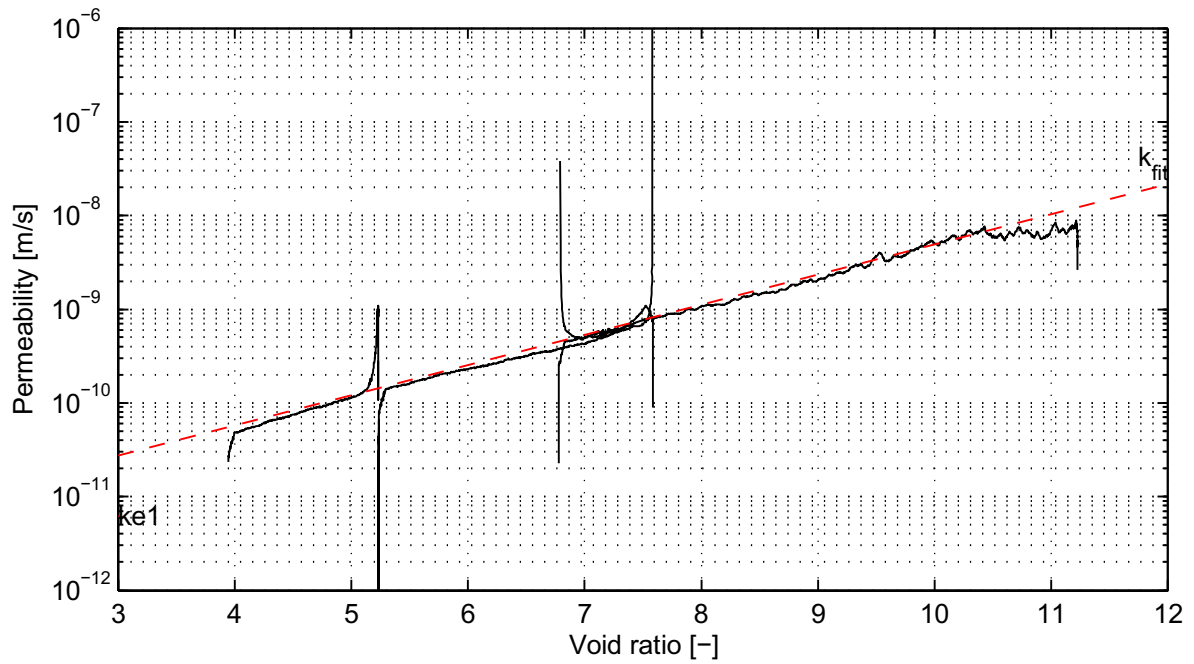
A = 5.3e-002  
B = 3.3e-001

C = 3.2e-002

$P_g = 30.7 \text{ kPa}$

	PO Box 177, NL 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: www.deltares.nl Telefax +31 (0)15 261 0821	date 2012-05-02	signed ess
	Doorvertaling Markermeerdijk Boring B02_Dijk28_DP63_Achterland, sample 63AB, depth: -5.56 m to -5.61 m NAP		project 1203768.18	seen -
K0-CRS measurement			appendix CRS63AB	page 2

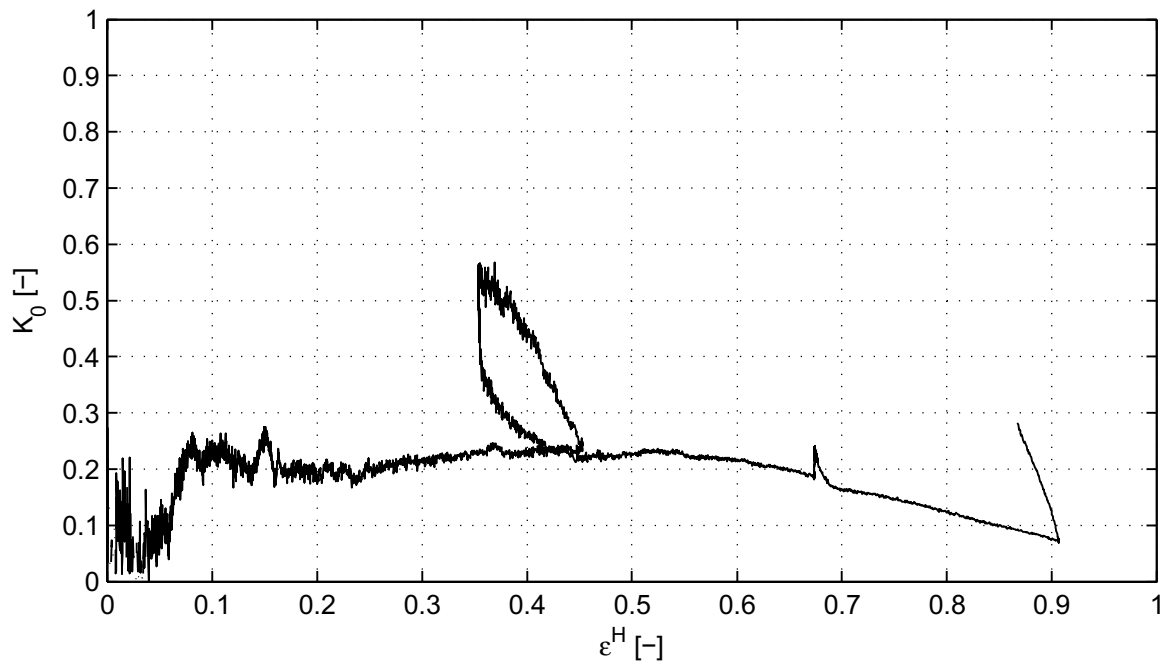
\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-04 12:10



$k_{e1} = 6.2e-012$  m/s

$k_{e0} = 1.2e-008$  m/s

slope =  $3.22e-001$



$v = 0.18$

$K_{0c} = 0.23$

$K_{0e} = 0.08$

**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  
2012-05-02

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B02\_Dijk28\_DP63\_Achterland, sample 63AB, depth: -5.56 m to -5.61 m NAP

project  
1203768.18

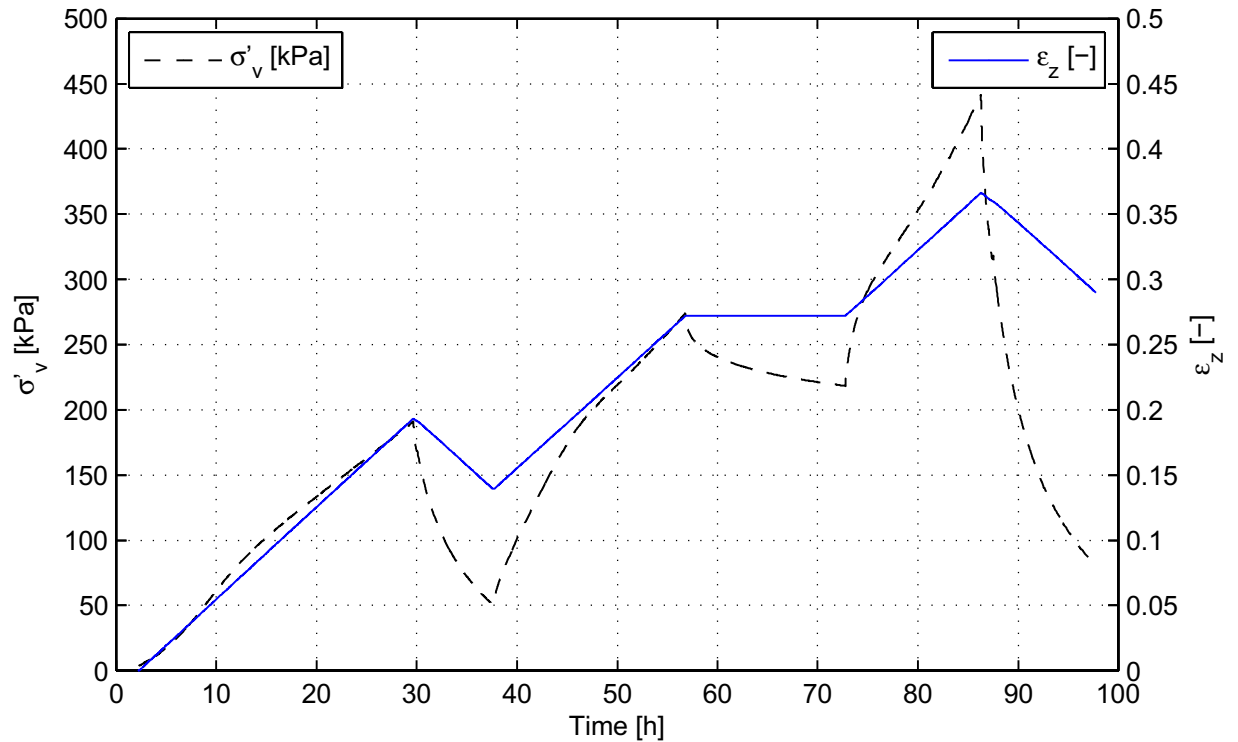
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS63AB

page  
3

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-04 12:10



**Description of soil sample:**

Soil description (NEN 5104)	Veen, zwak kleilig
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	11.0
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	2.4
Water content [%]	352.0
Water content final [%]	177.3
Initial saturation [%]	1.01
Void ratio - initial [-]	6.39
Sample disturbance index [%]	6.0, moderate quality
sat. and e calculated with $\gamma_s$ [kN/3] of	17.9

**Test overview (test plan):**

Stress loading phase [kPa]	200
Stress unloading phase [kPa]	50
Stress reloading phase [kPa]	299
Stress relaxation phase [kPa]	300
Maximum stress [kPa]	500

**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  
2012-05-02

signed  
ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B01\_Dijk28\_DP134\_Kruin, sample 79AA, depth: -6.76 m to -6.81 m NAP

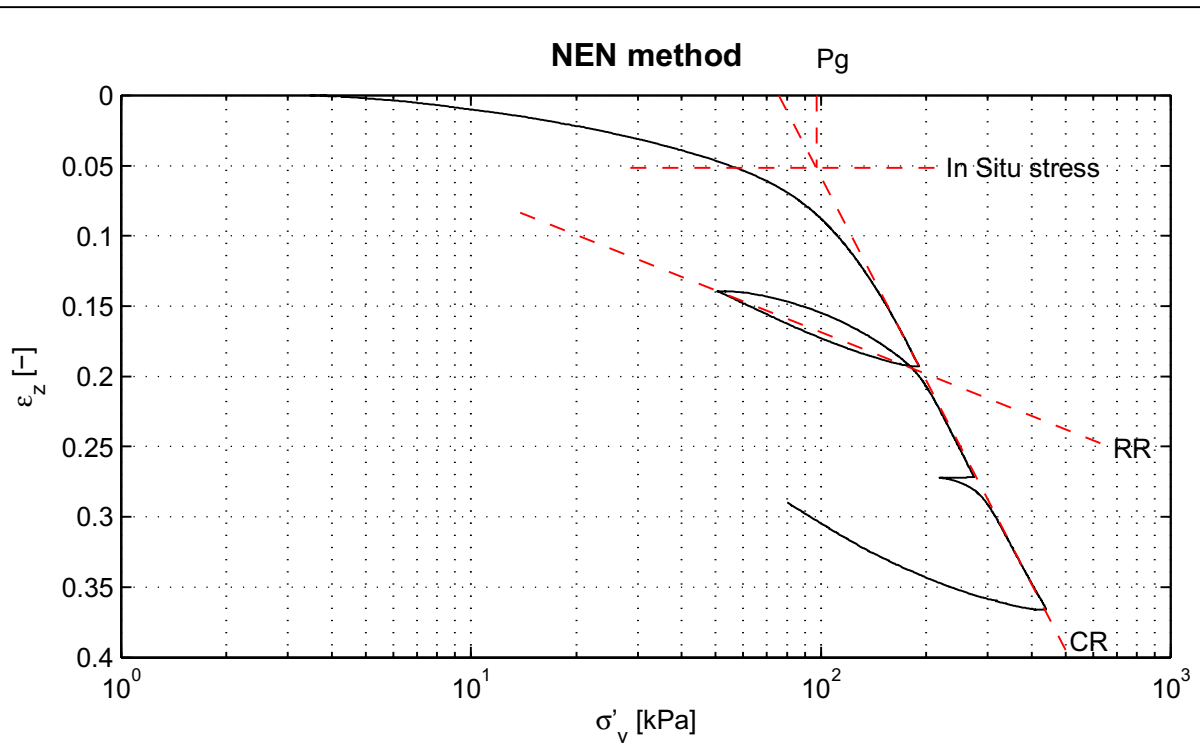
K0-CRS measurement

project  
1203768.18

appendix  
CRS79AA

seen  
-

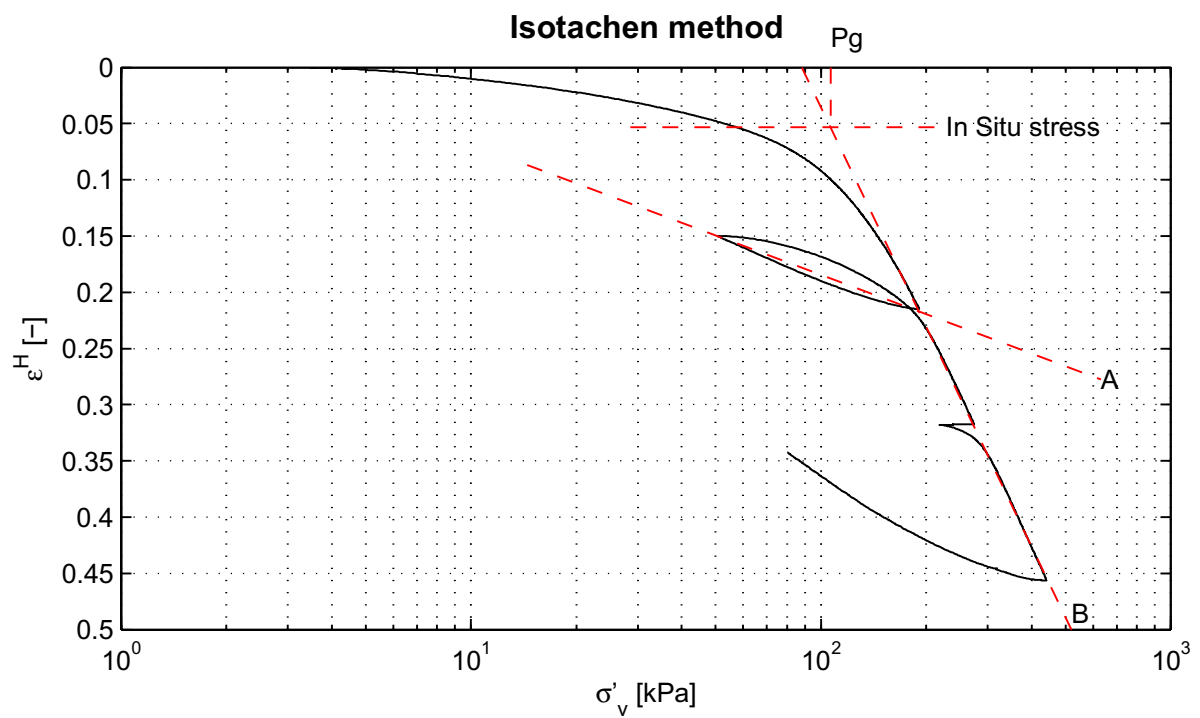
page  
1



RR = 9.9e-002  
CR = 4.8e-001

$C_\alpha = 2.7e-002$

Pg = 97.1 kPa



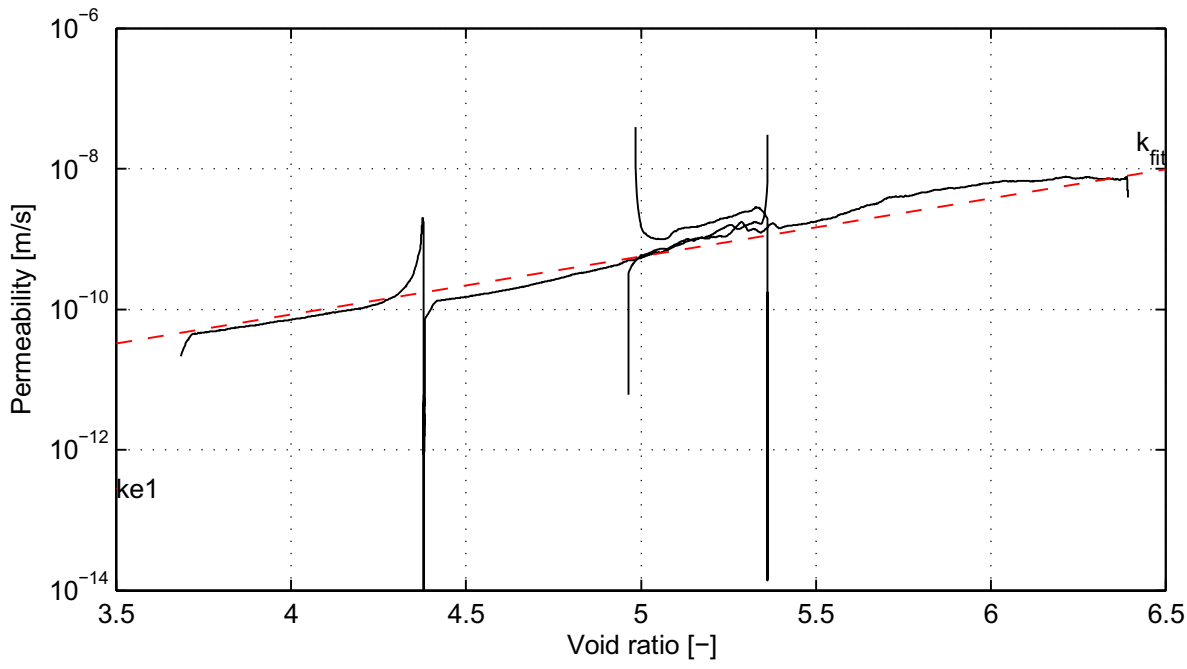
A = 5.1e-002  
B = 2.8e-001

C = 1.6e-002

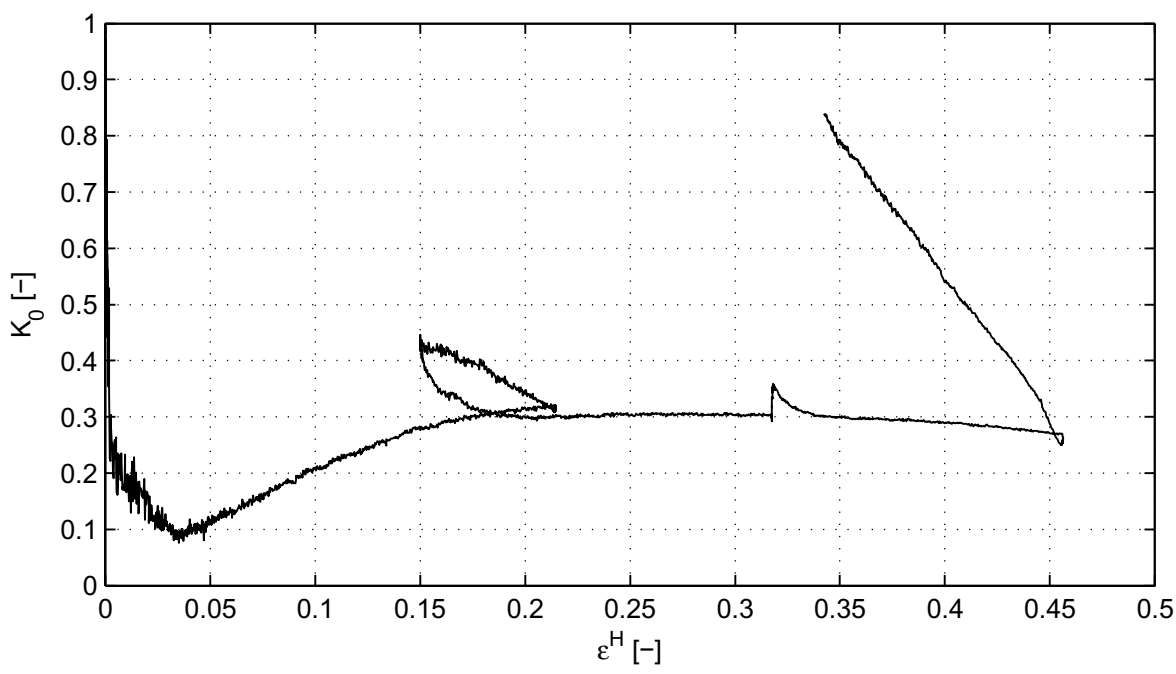
Pg = 106.6 kPa

<b style="font-size: 1.5em;">Deltares</b> PO Box 177, NL 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: www.deltares.nl	date 2012-05-02	signed ess	
	Doorvertaling Markermeerdijk Boring B01_Dijk28_DP134_Kruin, sample 79AA, depth: -6.76 m to -6.81 m NAP		project 1203768.18	seen -
	<b>K0-CRS measurement</b>		appendix CRS79AA	page 2

*\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-04 12:18*



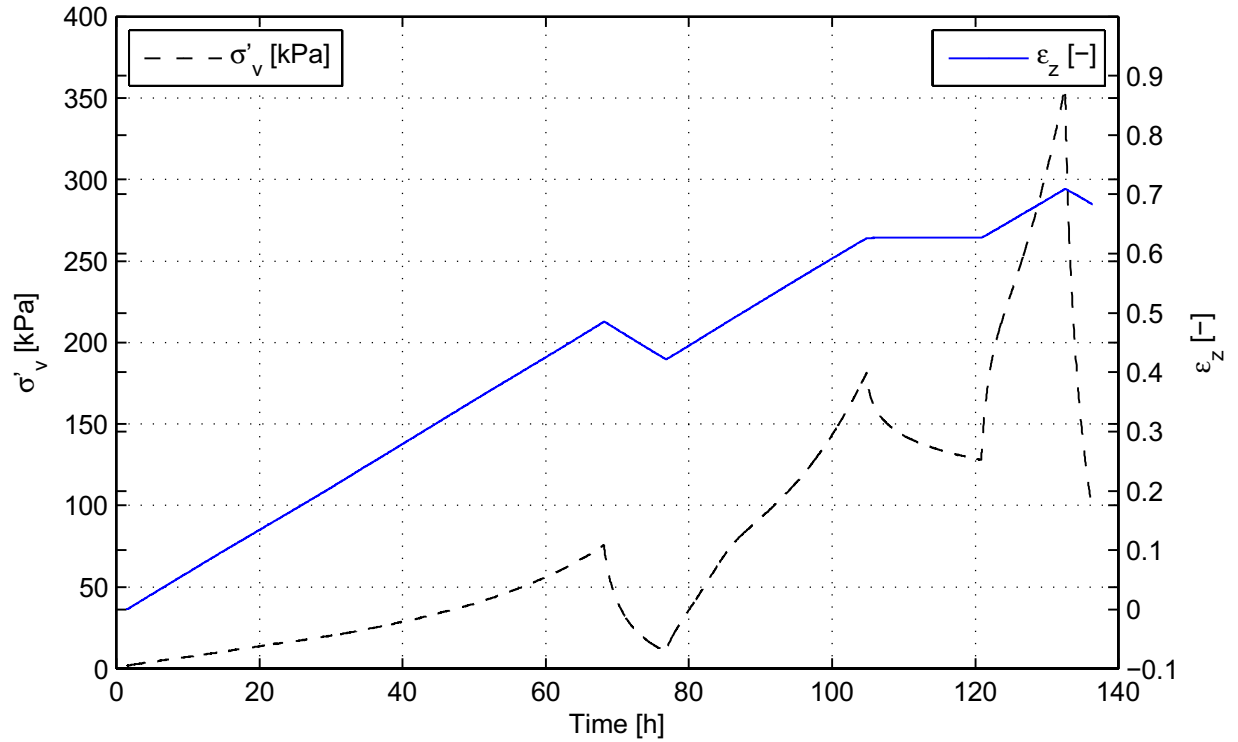
$k_{e1} = 2.8e-013 \text{ m/s}$      
  $k_{e0} = 8.0e-009 \text{ m/s}$      
 slope =  $8.26e-001$



$v = 0.28$      
 $K_{0c} = 0.30$      
 $K_{0e} = 0.27$

<b>Deltares</b> PO Box 177, NL 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: www.deltares.nl	date 2012-05-02	signed ess
	Doorvertaling Markermeerdijk Boring B01_Dijk28_DP134_Kruin, sample 79AA, depth: -6.76 m to -6.81 m NAP	project 1203768.18	seen -
	K0-CRS measurement	appendix CRS79AA	page 3

\*) Vrijgegeven door Grw op 2012-05-04 12:18



**Description of soil sample:**

Soil description (NEN 5104)	Veen, mineraalarm
Unit weight saturated soil [kN/m <sup>3</sup> ]	9.5
Unit weight dry soil [kN/m <sup>3</sup> ]	1.1
Water content [%]	792.5
Water content final [%]	297.5
Initial saturation [%]	0.92
Void ratio - initial [-]	13.79
Sample disturbance index [%]	10.0, bad quality
sat. and e calculated with $\gamma_s$ [kN/3] of	15.7

**Test overview (test plan):**

Stress loading phase [kPa]	80
Stress unloading phase [kPa]	10
Stress reloading phase [kPa]	199
Stress relaxation phase [kPa]	200
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  
2012-05-08

signed  
Ess

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 107AB, depth: -3.53 m to -3.58 m

K0-CRS measurement

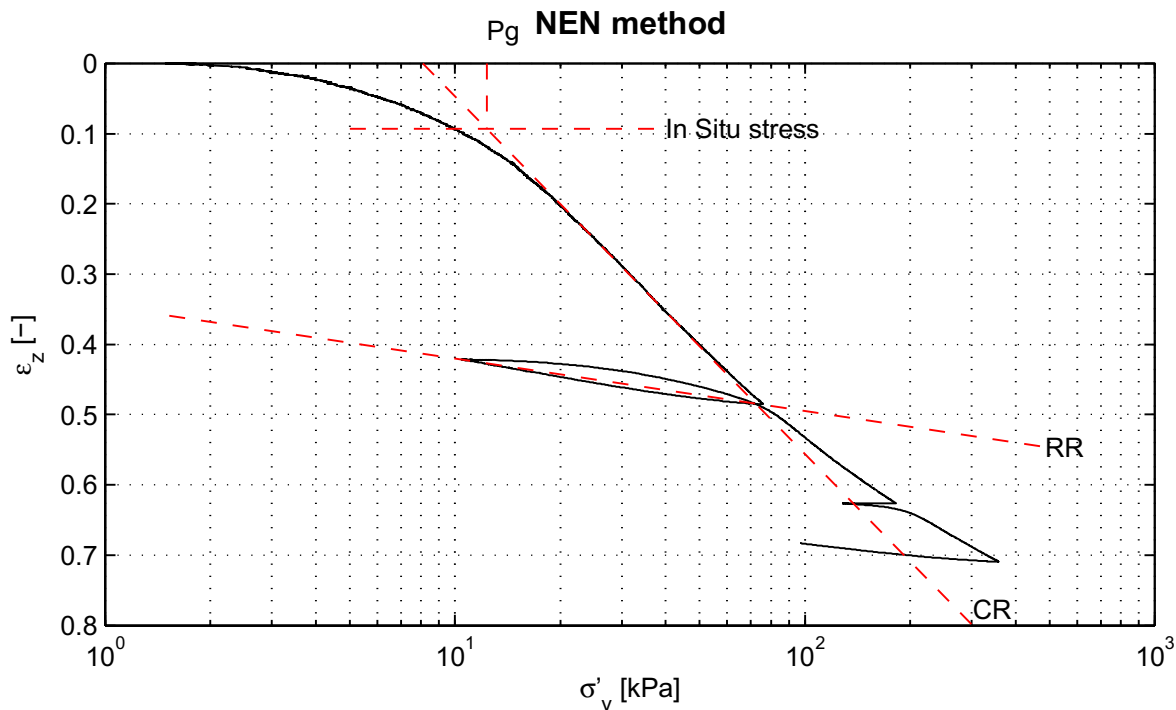
project  
1203768.18

appendix  
CRS107AB

seen  
-

page  
1

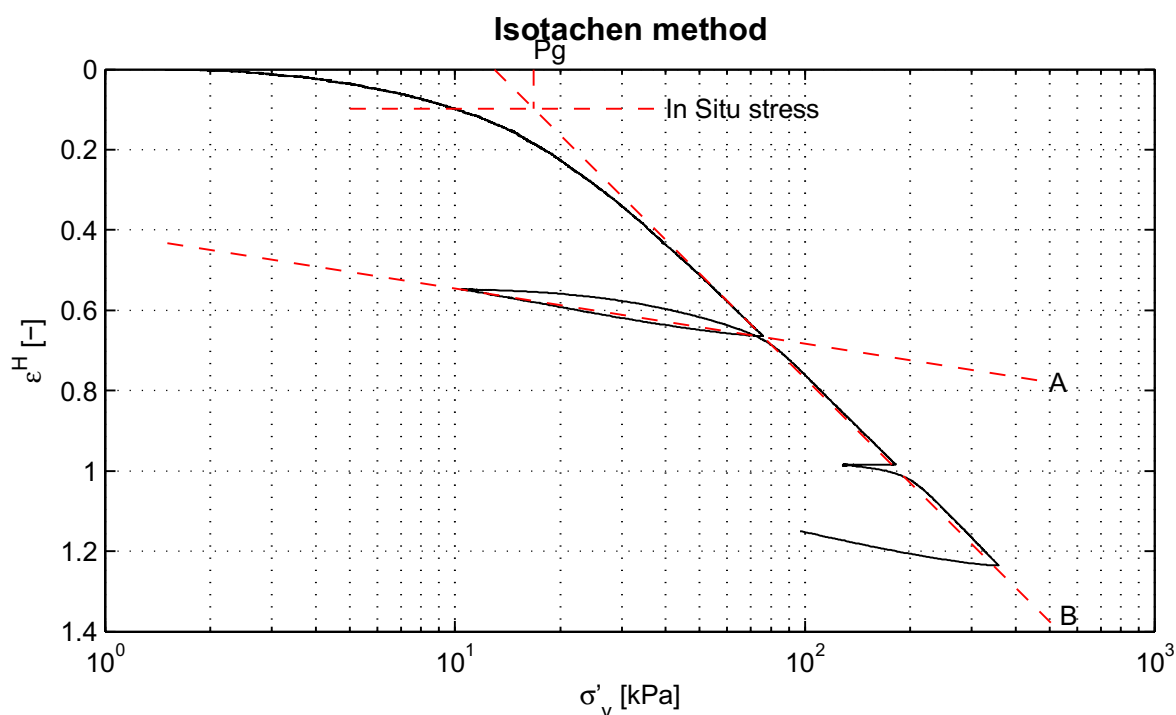




RR = 7.5e-002  
CR = 5.1e-001

$C_\alpha = 4.8e-002$

$P_g = 12.4 \text{ kPa}$



A = 6.0e-002  
B = 3.8e-001

C = 3.5e-002

$P_g = 16.8 \text{ kPa}$

**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

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 107AB, depth: -3.53 m to -3.58 m

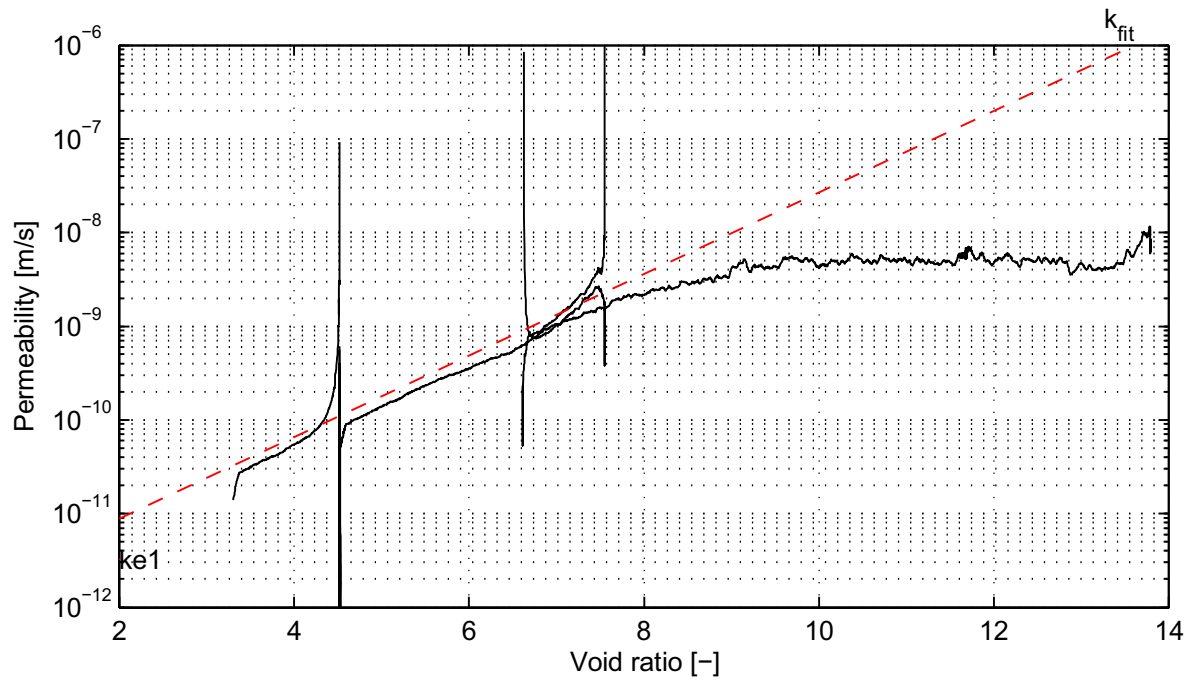
project  
1203768.18

seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS107AB

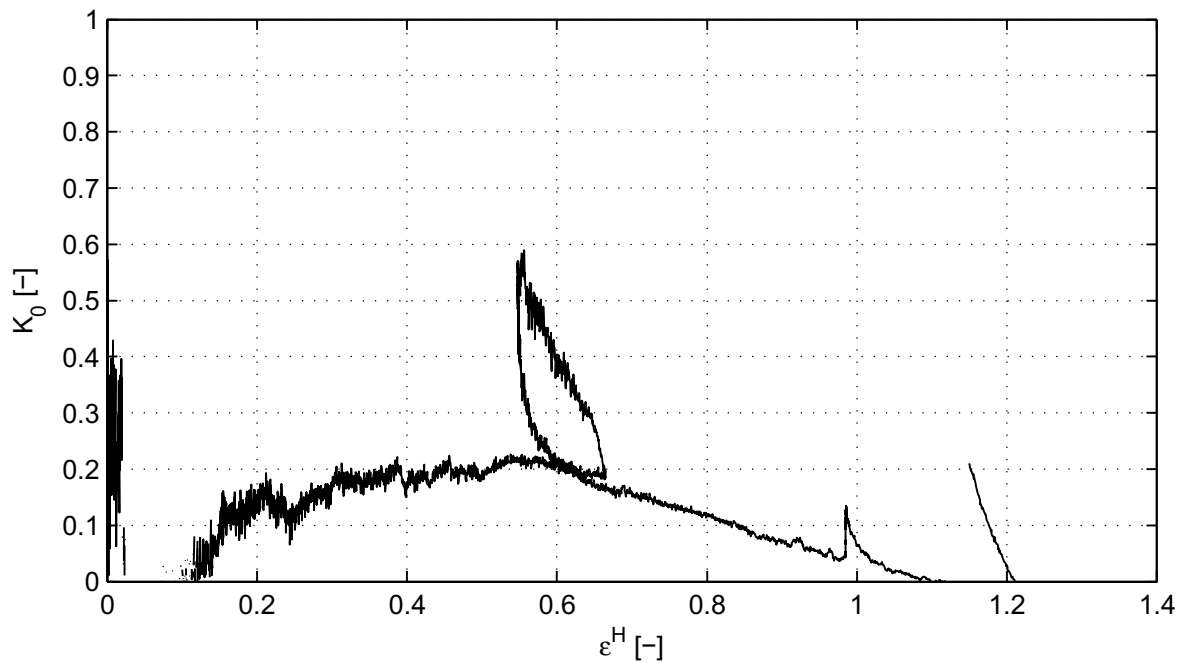
page  
2



$k_{e1} = 3.3e-012 \text{ m/s}$

$k_{e0} = 1.2e-006 \text{ m/s}$

slope = 4.36e-001



$v = 0.13$

$K_{0c} = 0.20$

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

**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

Doorvertaling Markermeerdijk

Boring B03\_Dijk28\_DP134\_Achterland, sample 107AB, depth: -3.53 m to -3.58 m NAP

project  
1203768.18

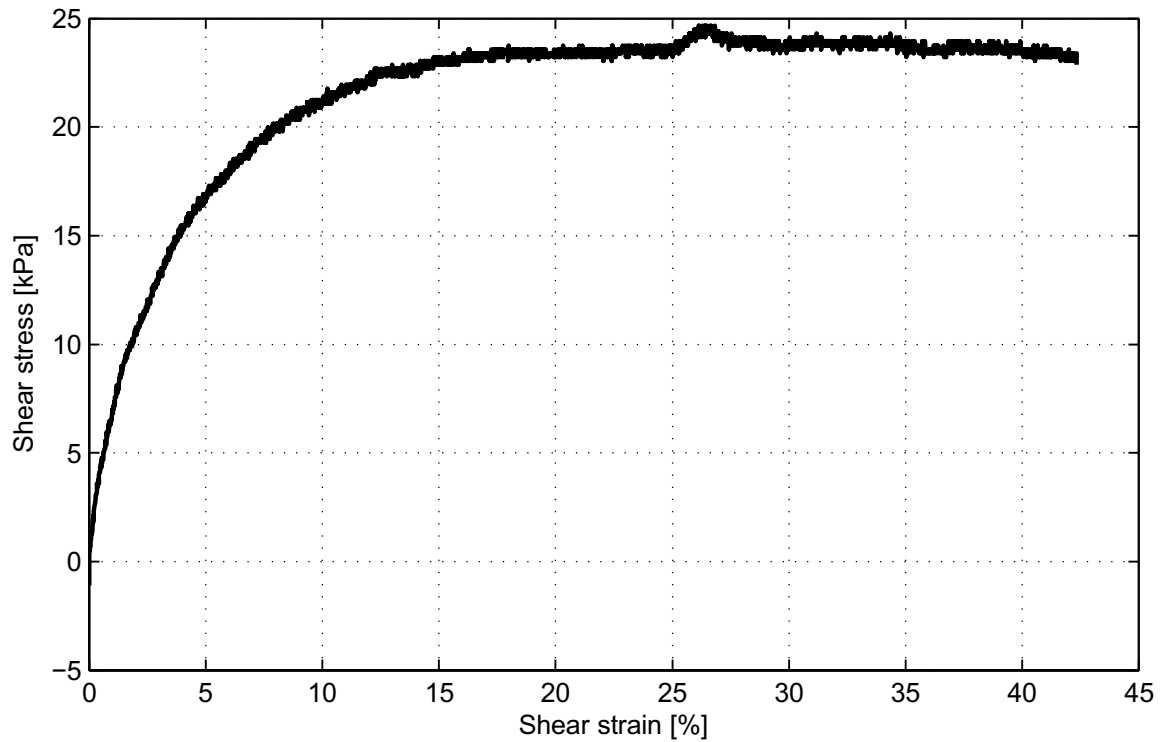
seen  
-

K0-CRS measurement

appendix  
CRS107AB

page  
3

## **E DSS proeven**



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, zwak kleilig
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	DSS-B
Sample identification	16BA
Bor. No.	B01_Dijk20_DP34_Kruin
Depth from NAP [m]	-0.55
Depth to NAP [m]	-0.60
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	1.15
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	177.5
$w$ (final) [%]	183.5
Strain rate [%/h]	8.0
Initial vertical stress [kPa]	36.0
Mean vertical stress [kPa]	31.0
Maximum shear stress [kPa]	24.7
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	30.8

**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 16BA

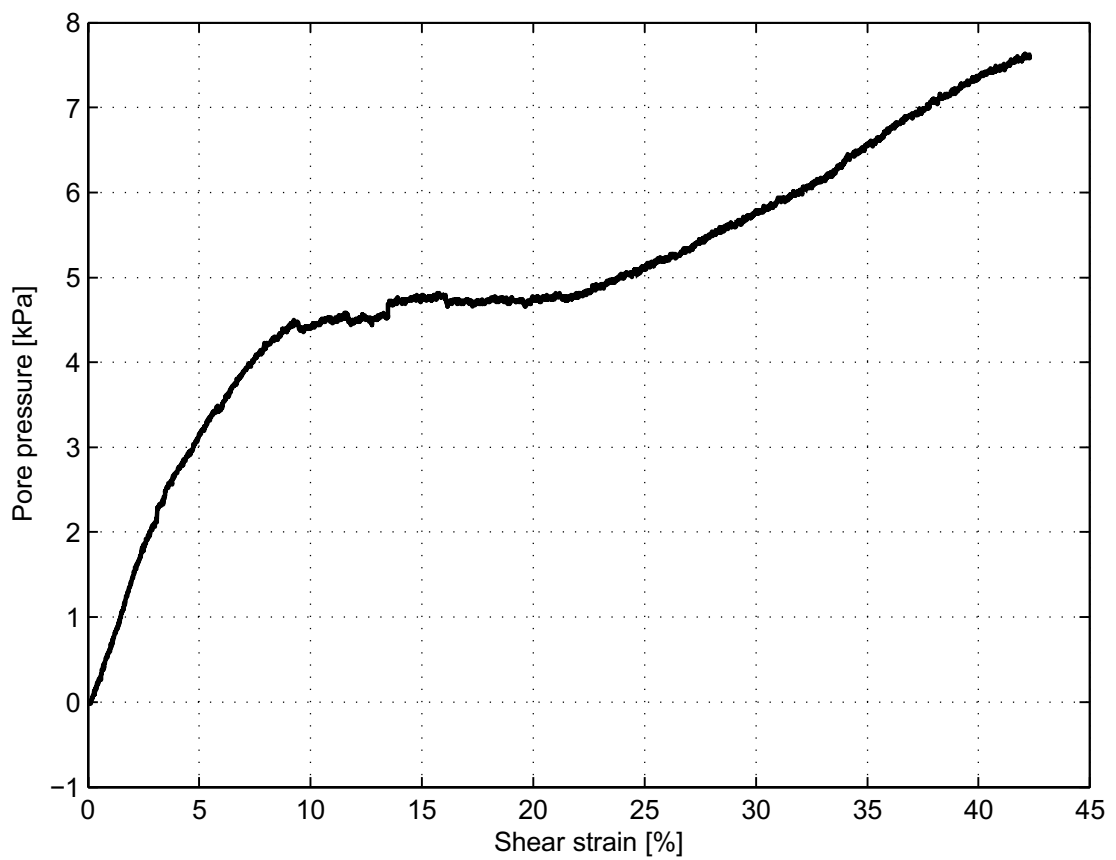
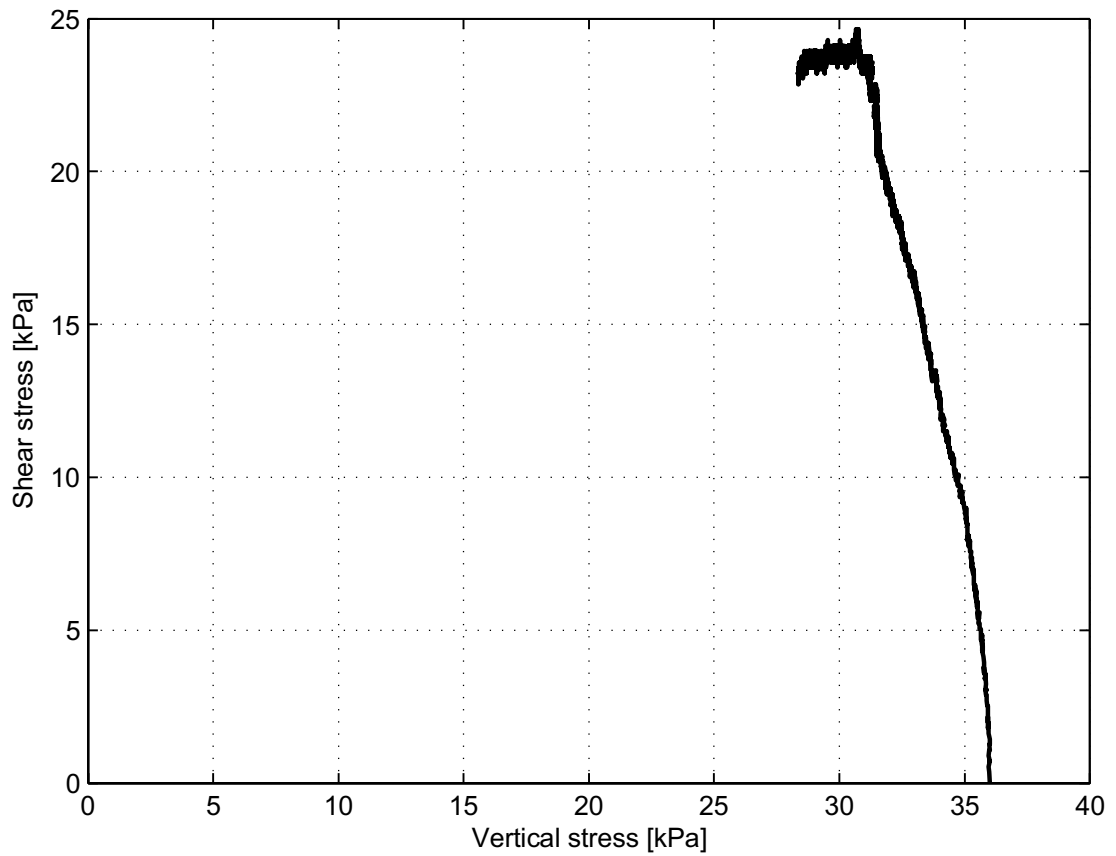
project  
1203768.18

seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS16BA

page  
1



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 16BA

project  
1203768.18

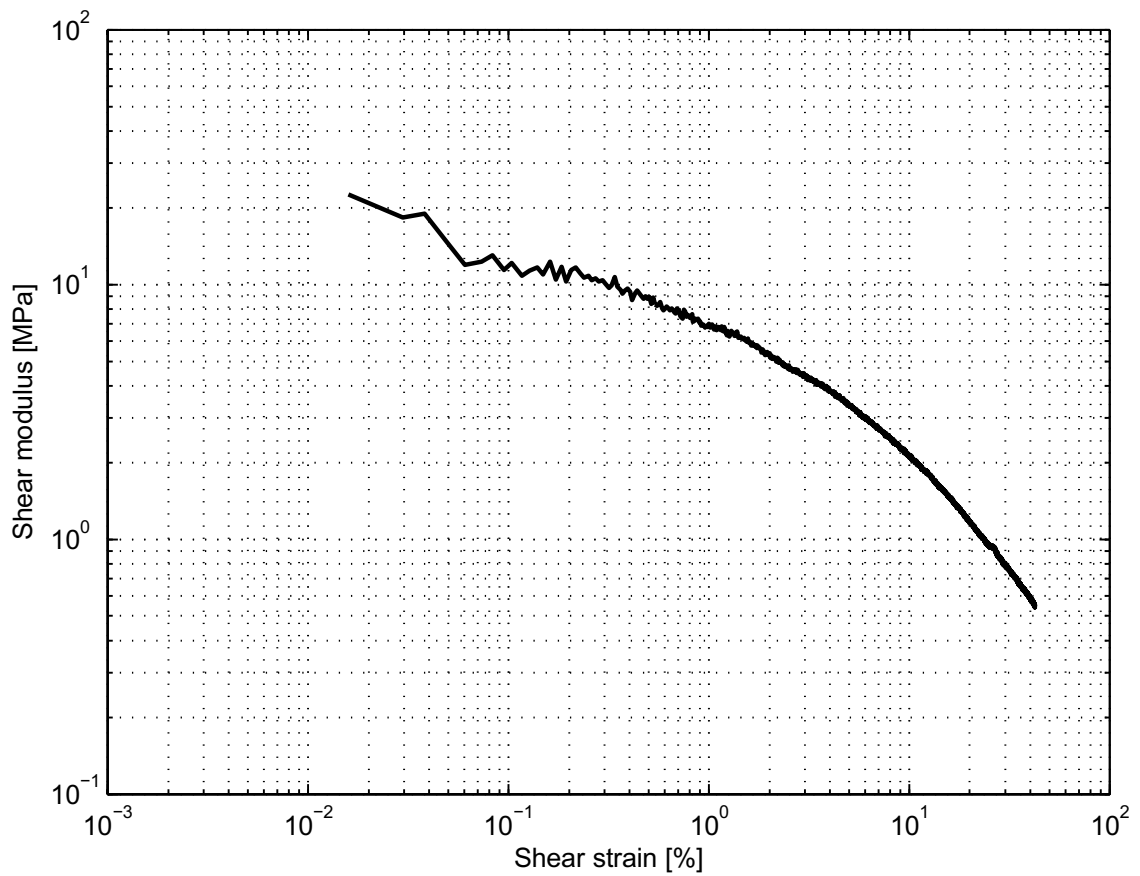
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS16BA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:40



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 16BA

project  
1203768.18

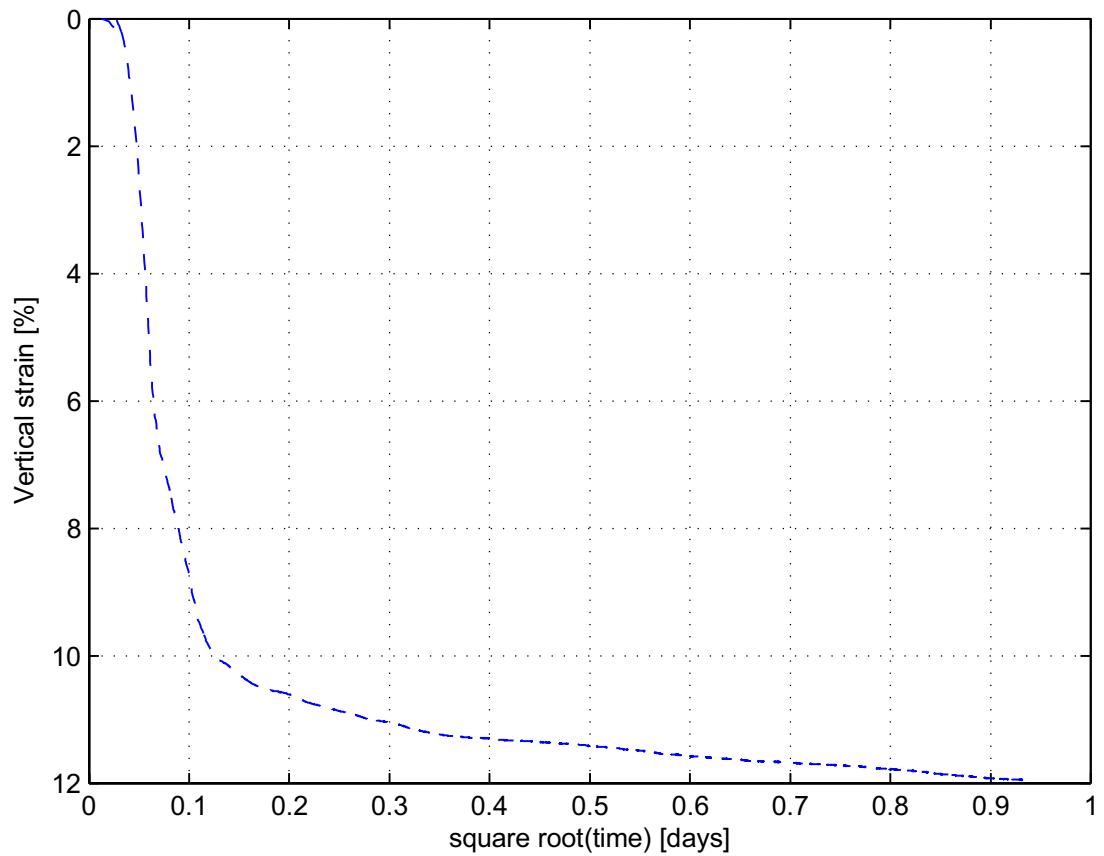
seen  
-

Direct Simple Shear Test

appendix  
DSS16BA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:40



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 16BA

project  
1203768.18

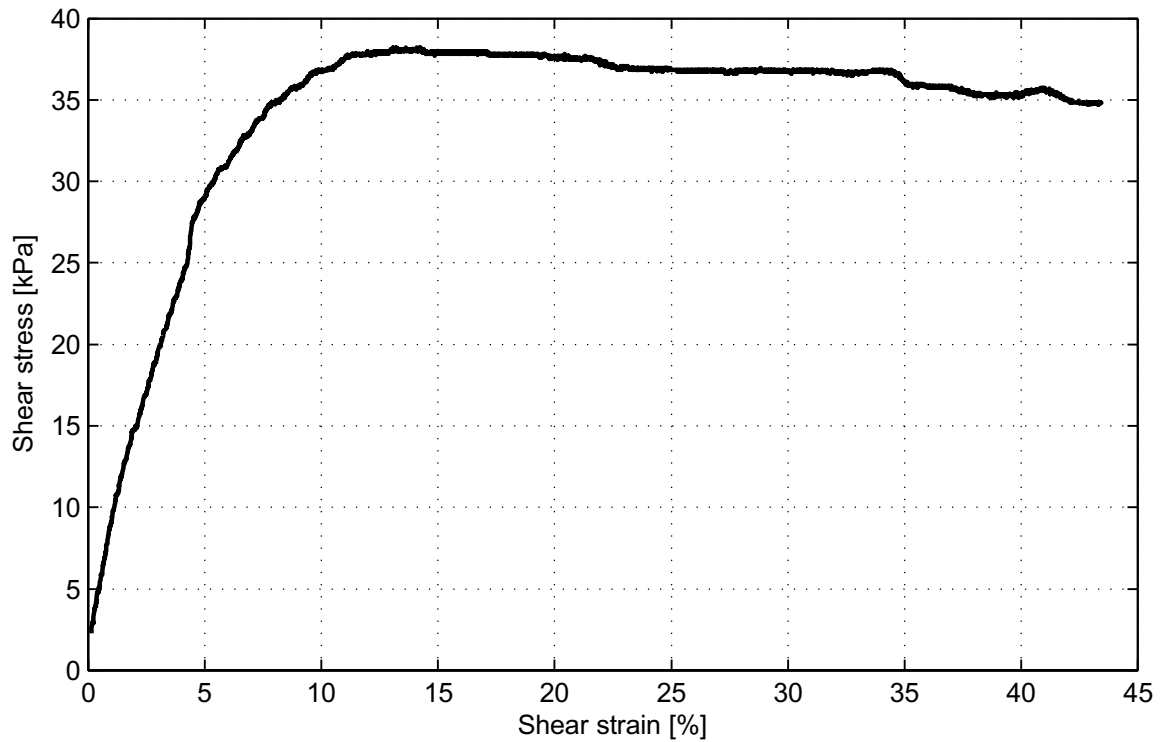
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS16BA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:40



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, mineraalarm, met veel houtresten.
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	ASS
Sample identification	19CA
Bor. No.	B01_Dijk20_DP34_Kruin
Depth from NAP [m]	-3.78
Depth to NAP [m]	-3.83
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	0.99
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	410.6
$w$ (final) [%]	400.1
Strain rate [%/h]	8.0
Initial vertical stress [kPa]	44.1
Mean vertical stress [kPa]	36.9
Maximum shear stress [kPa]	38.2
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	37.6

**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 19CA

project  
1203768.18

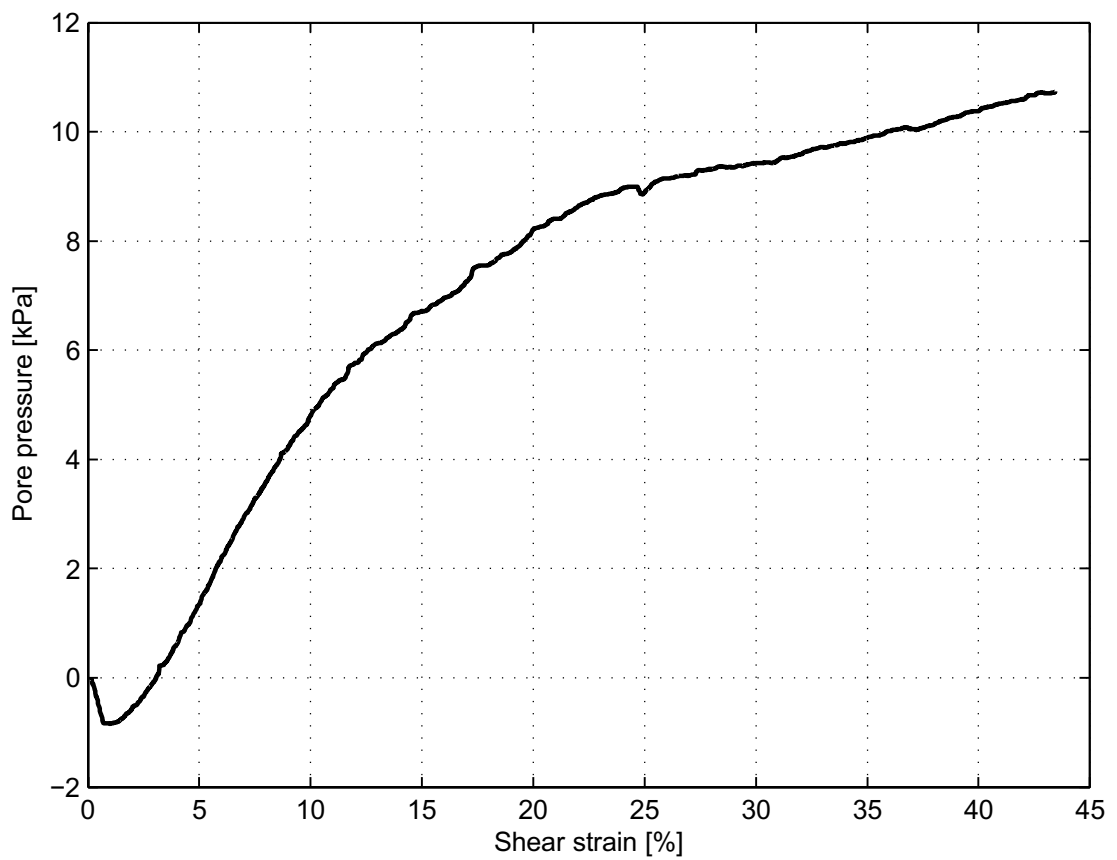
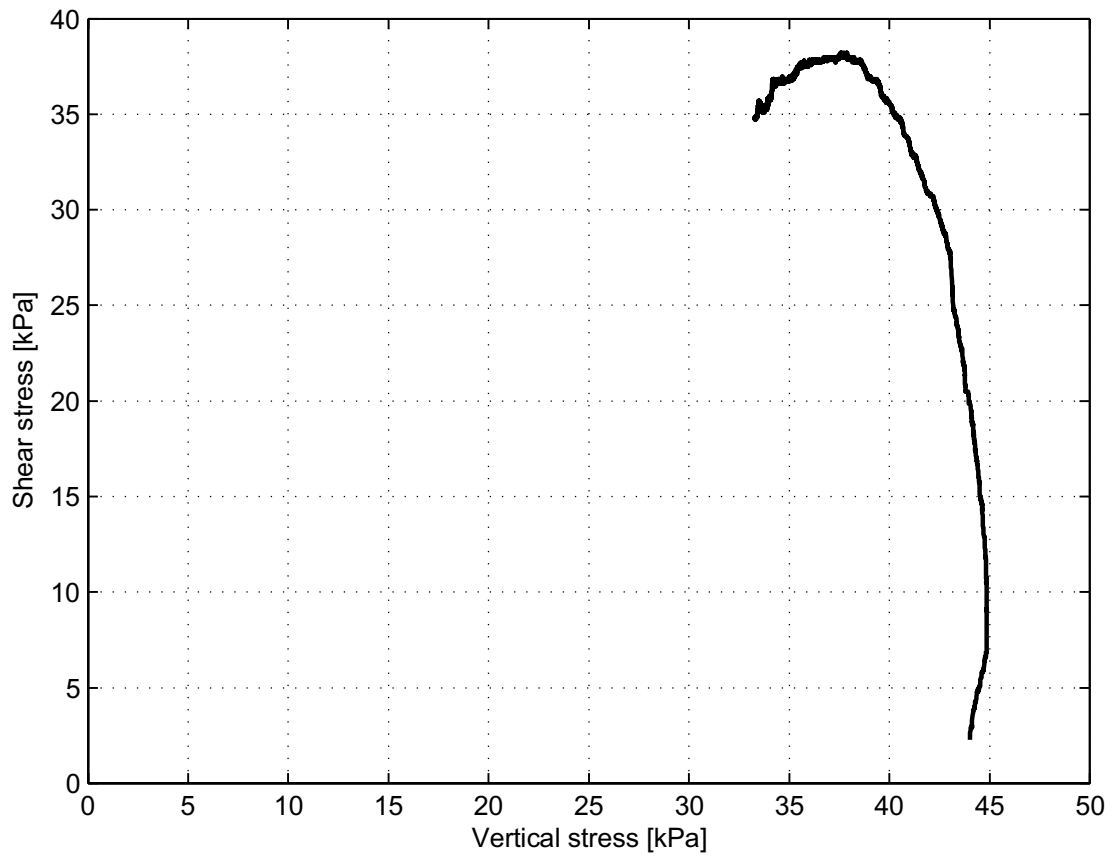
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS19CA

page  
1





**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 19CA

project  
1203768.18

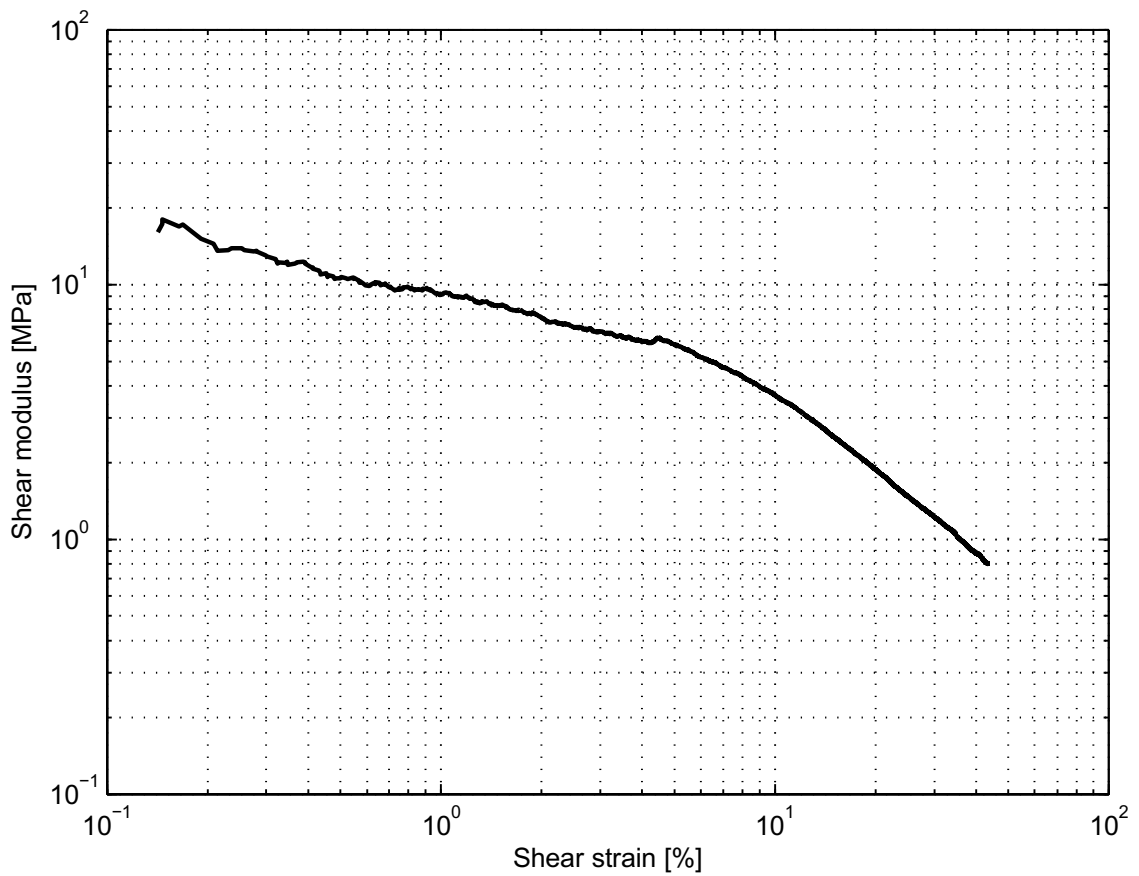
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS19CA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 12:03



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 19CA

project  
1203768.18

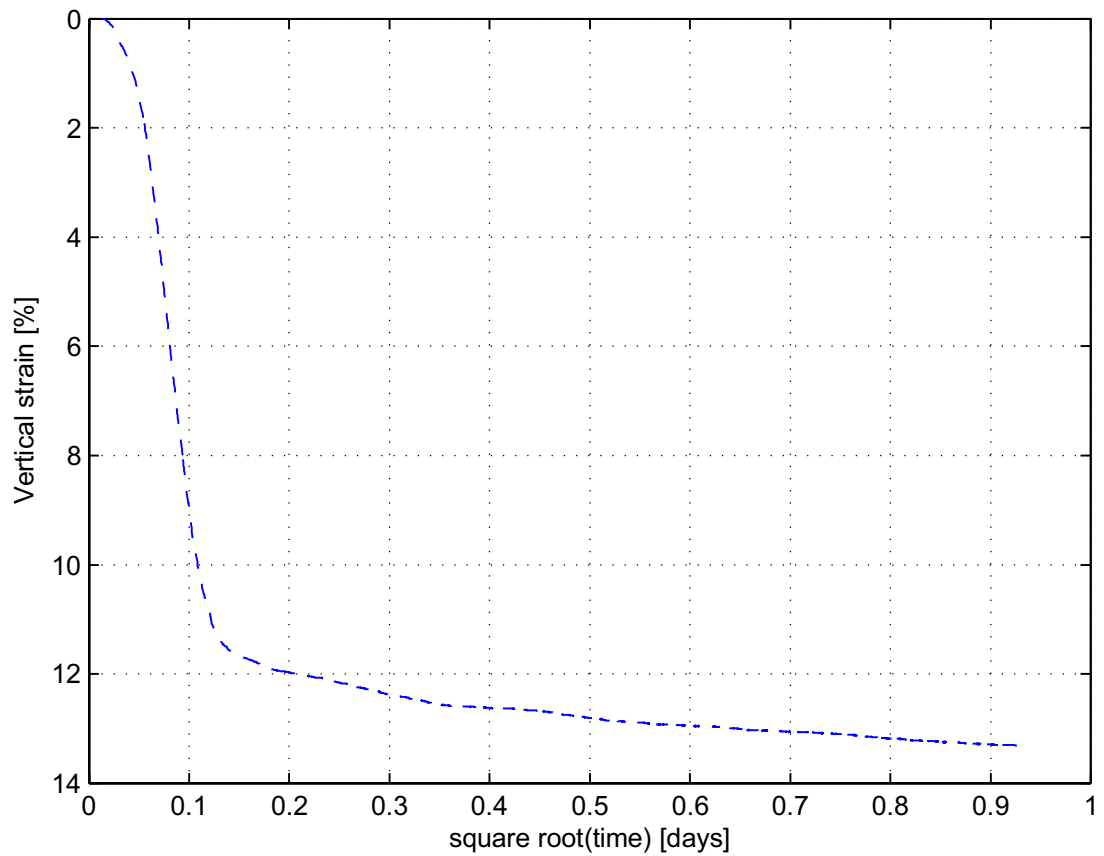
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS19CA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 12:03



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 19CA

project  
1203768.18

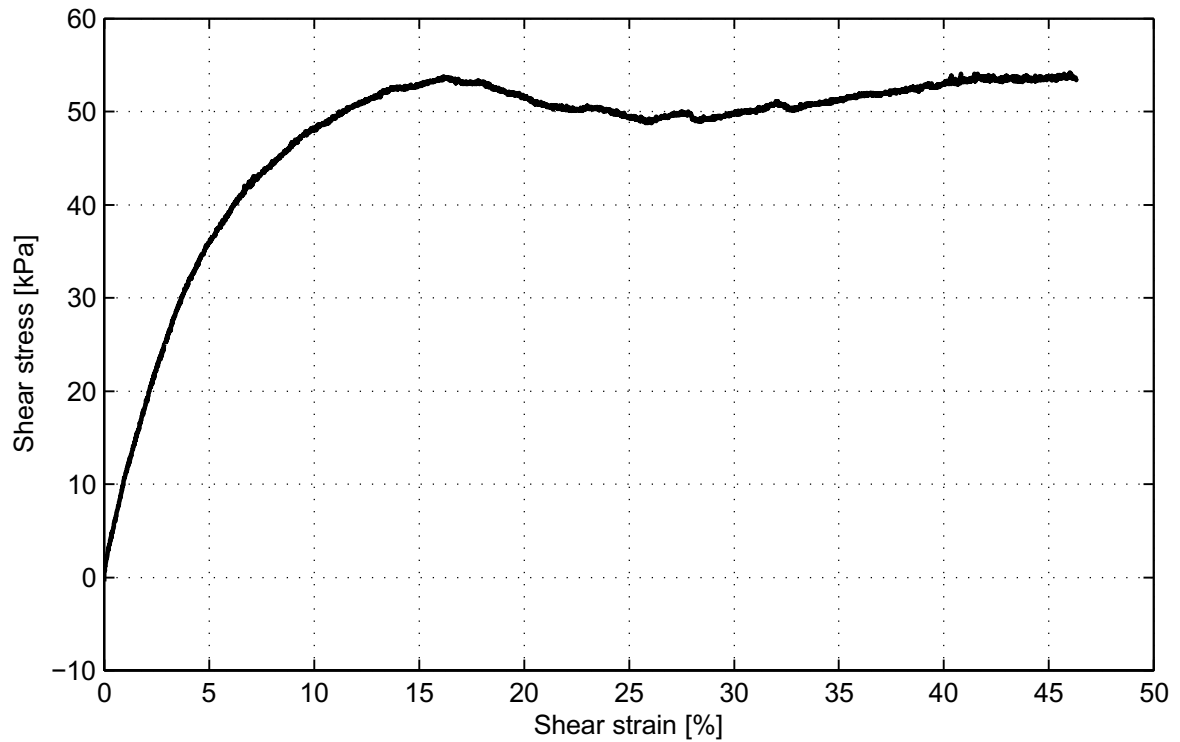
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS19CA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 12:03



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, mineraalarm
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	DSS-A
Sample identification	55AA
Bor. No.	B01_Dijk28_DP63_Kruin
Depth from NAP [m]	-5.74
Depth to NAP [m]	-5.79
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	1.05
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	347.1
$w$ (final) [%]	314.4
Strain rate [%/h]	8.0
Initial vertical stress [kPa]	80.0
Mean vertical stress [kPa]	67.6
Maximum shear stress [kPa]	54.2
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	59.2

**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 55AA

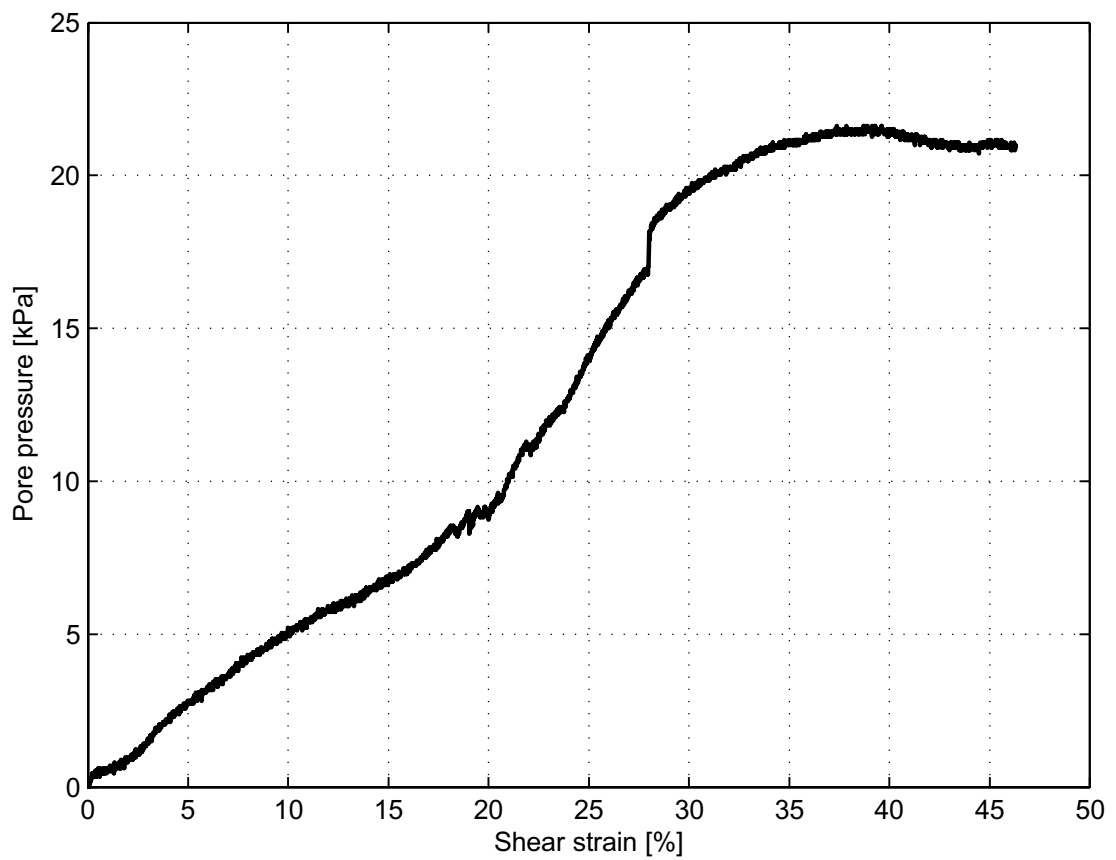
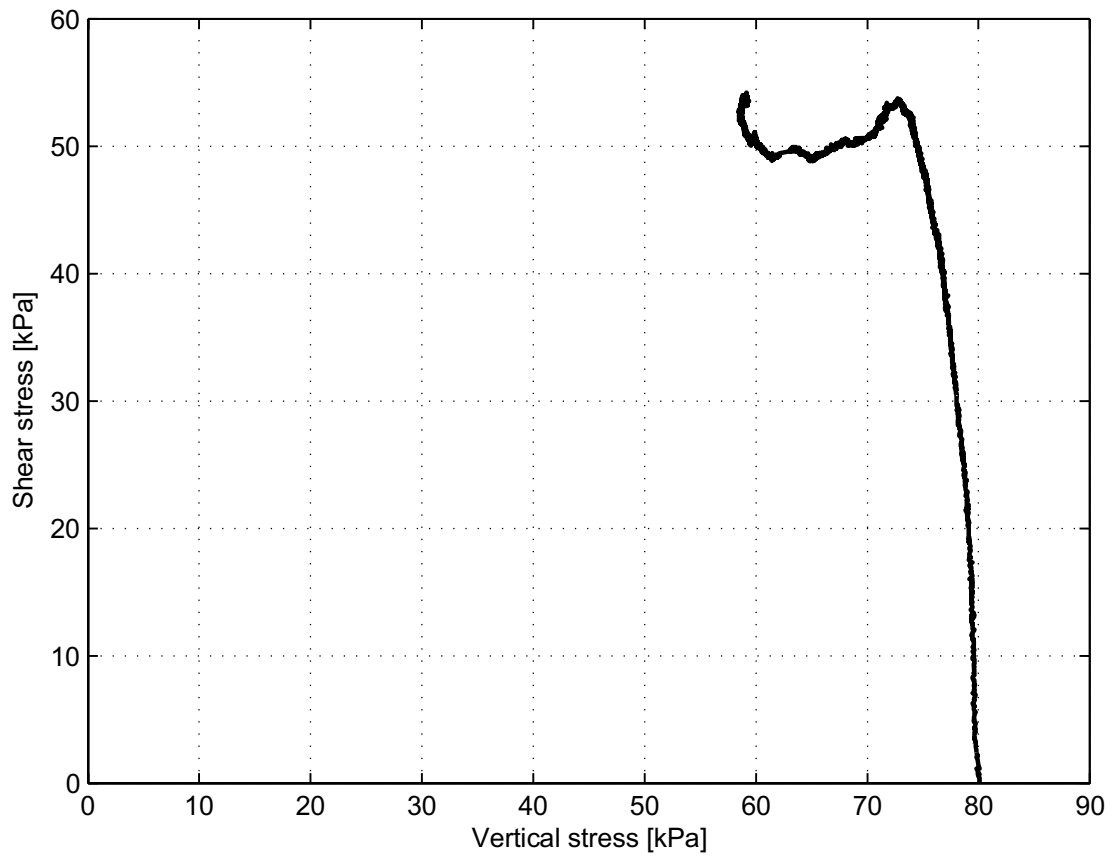
project  
1203768.18

seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS55AA

page  
1



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 55AA

project  
1203768.18

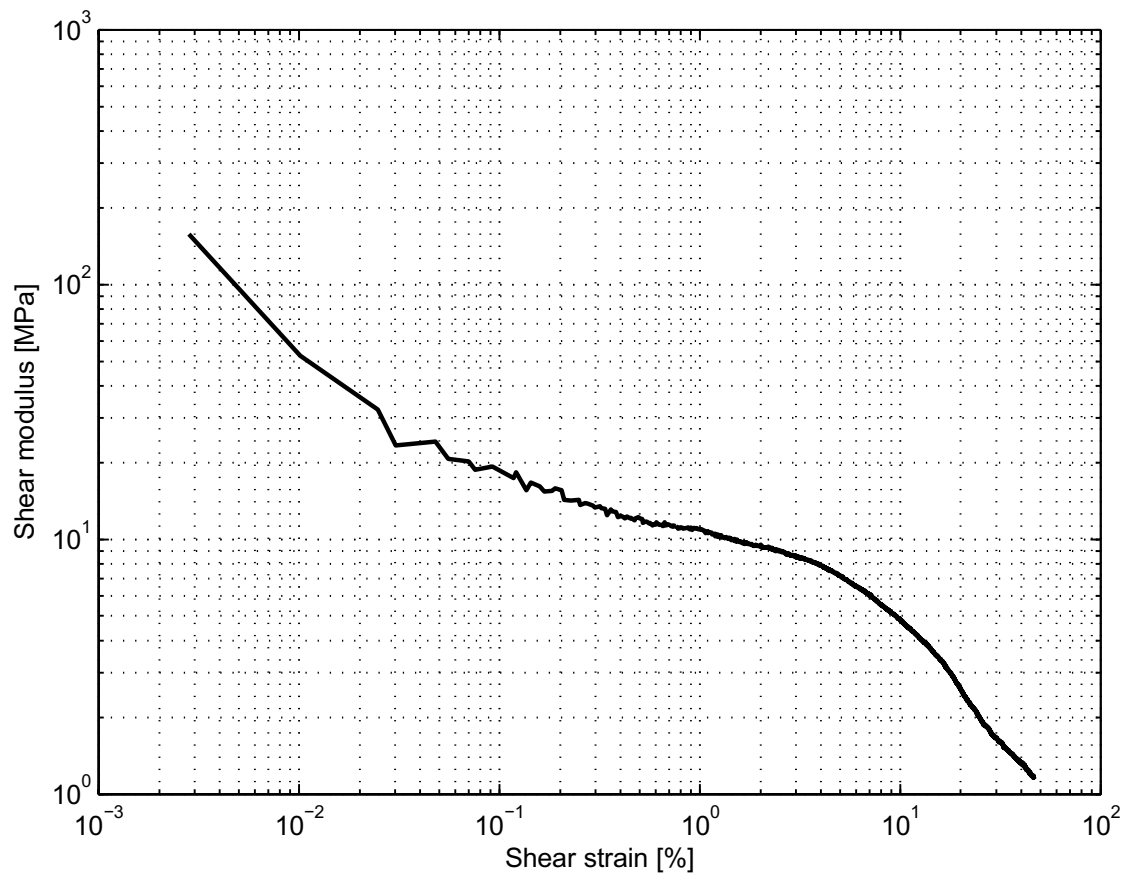
seen  
-

Direct Simple Shear Test

appendix  
DSS55AA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-04 15:11



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 55AA

project  
1203768.18

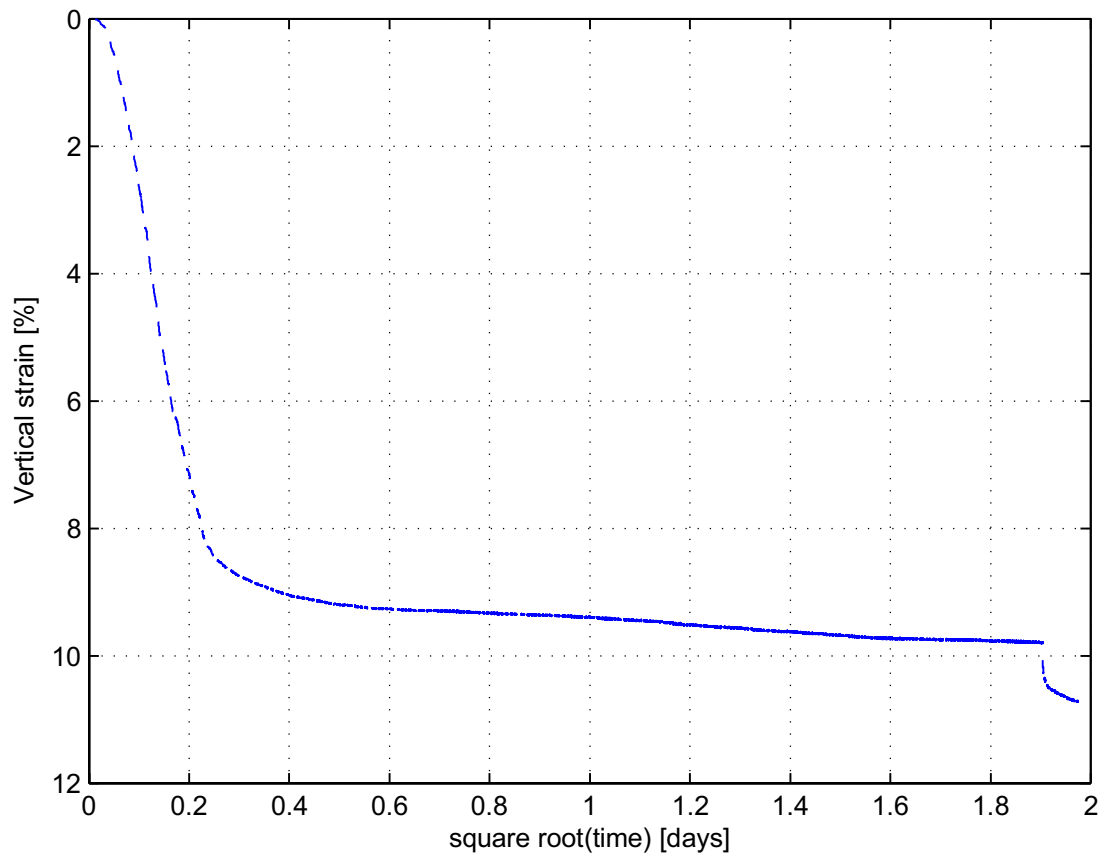
seen  
-

Direct Simple Shear Test

appendix  
DSS55AA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-04 15:11



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 55AA

project  
1203768.18

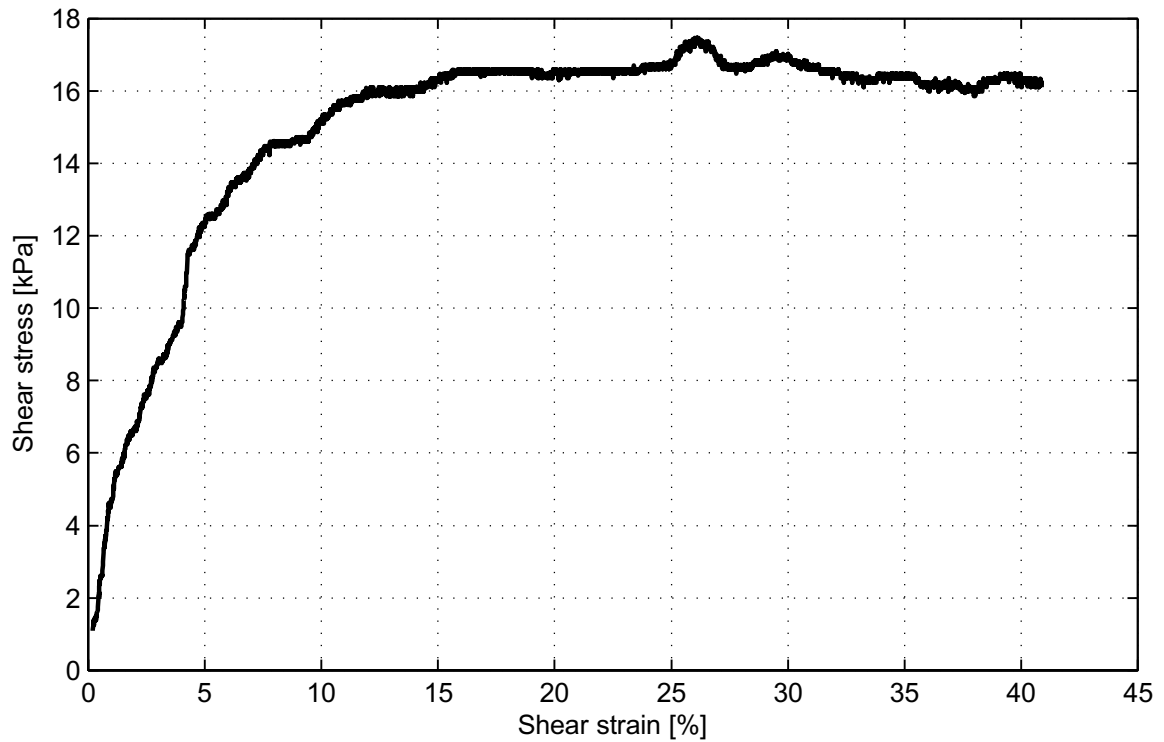
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS55AA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-04 15:11



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, mineraalarm
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	ASS
Sample identification	63AA
Bor. No.	B02_Dijk28_DP63_Achterland
Depth from NAP [m]	-5.51
Depth to NAP [m]	-5.56
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	1.01
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	575.9
$w$ (final) [%]	530.9
Strain rate [%/h]	8.1
Initial vertical stress [kPa]	25.0
Mean vertical stress [kPa]	20.2
Maximum shear stress [kPa]	17.5
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	19.5

**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 63AA

project  
1203768.18

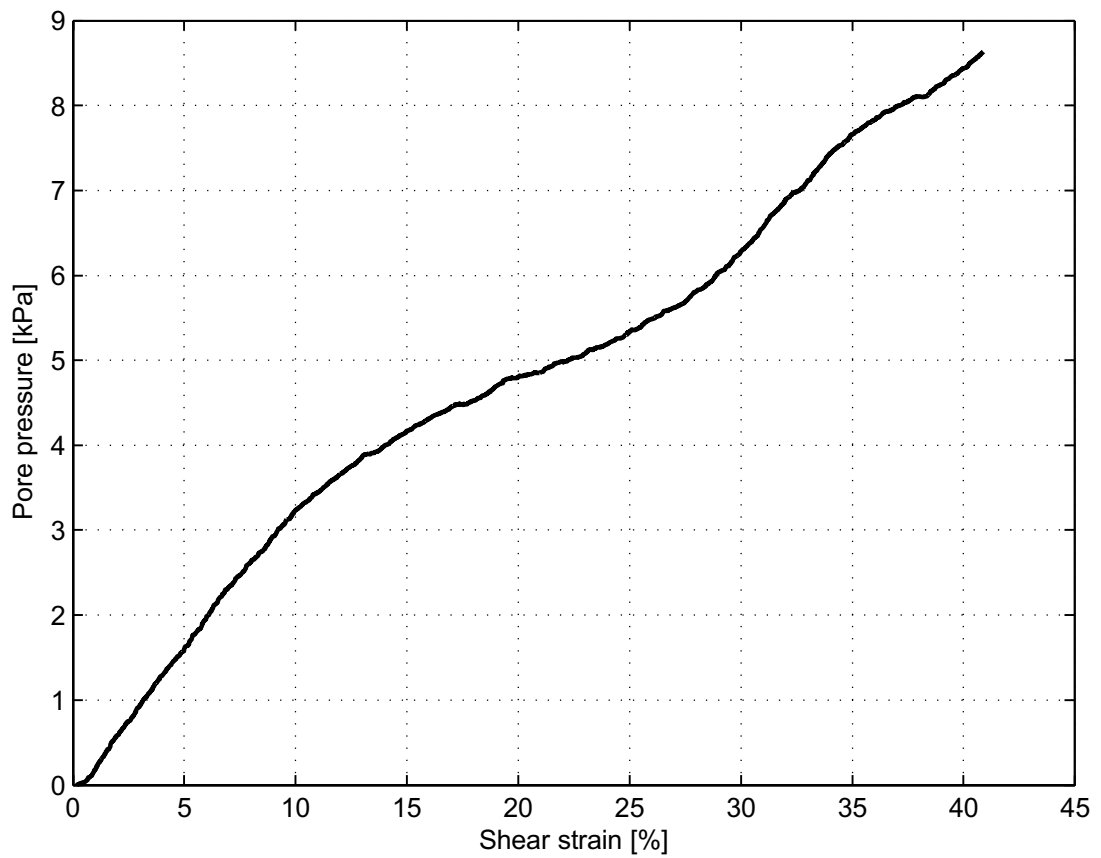
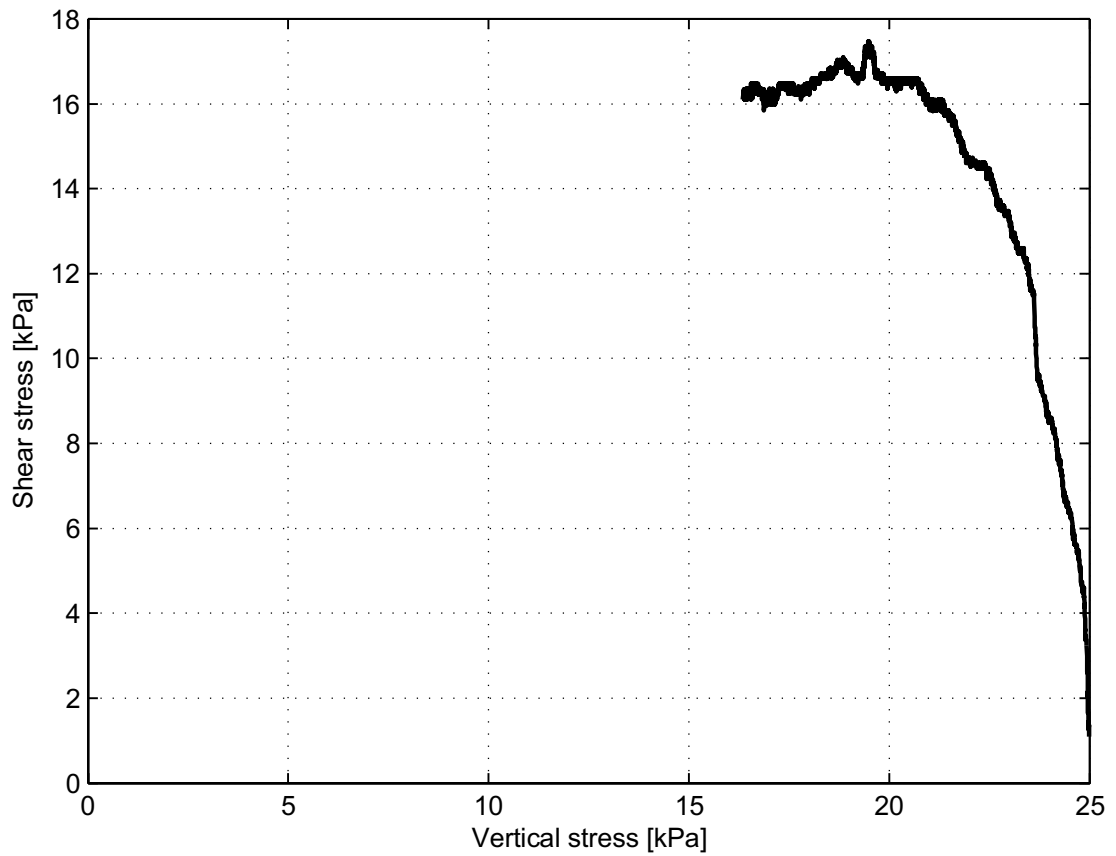
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS63AA

page  
1





**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 63AA

project  
1203768.18

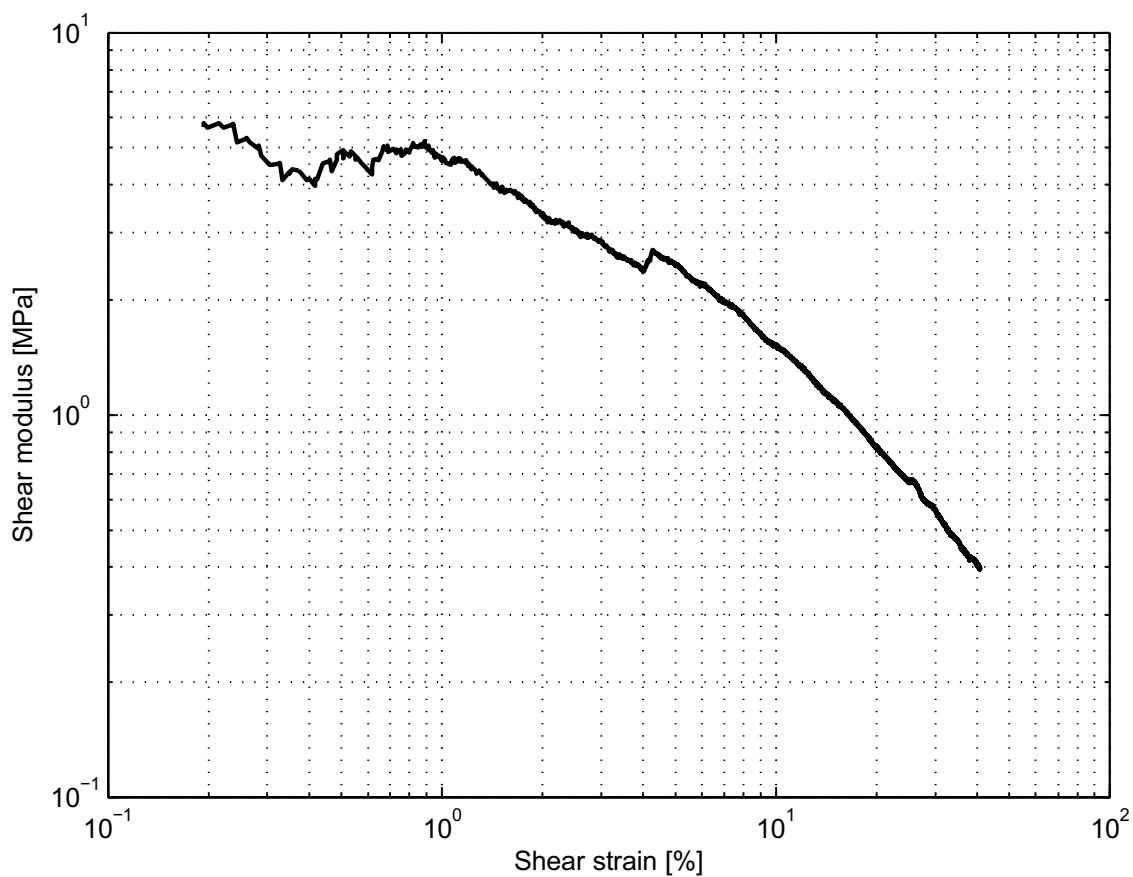
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS63AA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:41



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 63AA

project  
1203768.18

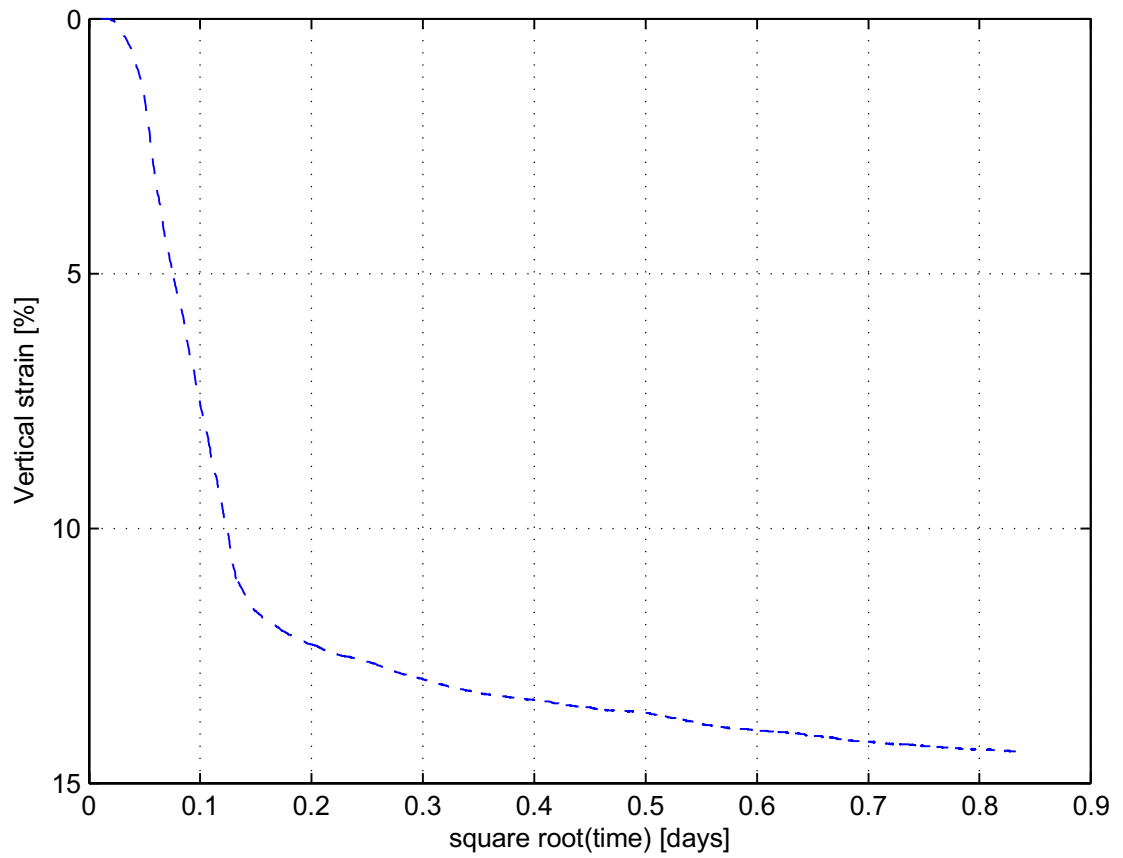
seen  
-

Direct Simple Shear Test

appendix  
DSS63AA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:41



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 63AA

project  
1203768.18

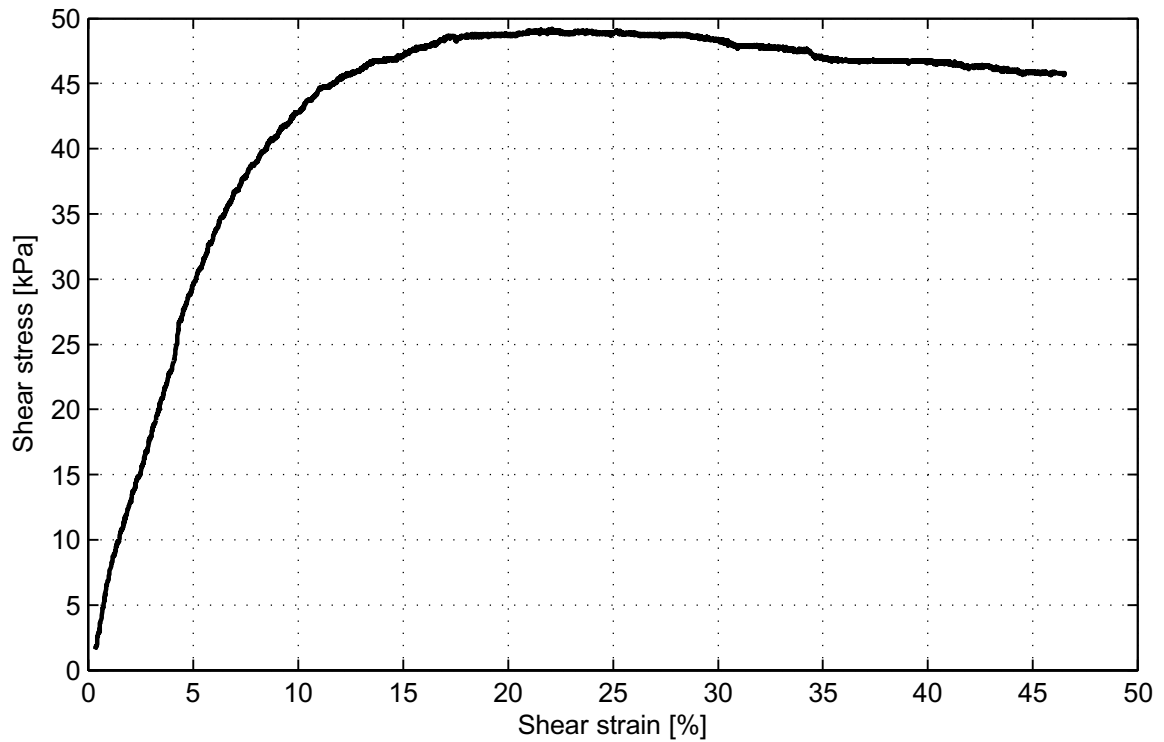
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS63AA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:41



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Klei, matig siltig, sterk humeus
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	ASS
Sample identification	77BA
Bor. No.	B01_Dijk28_DP134_Kruin
Depth from NAP [m]	-5.14
Depth to NAP [m]	-5.19
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	1.19
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	174.7
$w$ (final) [%]	171.4
Strain rate [%/h]	8.0
Initial vertical stress [kPa]	67.8
Mean vertical stress [kPa]	58.7
Maximum shear stress [kPa]	49.2
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	60.7

**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 77BA

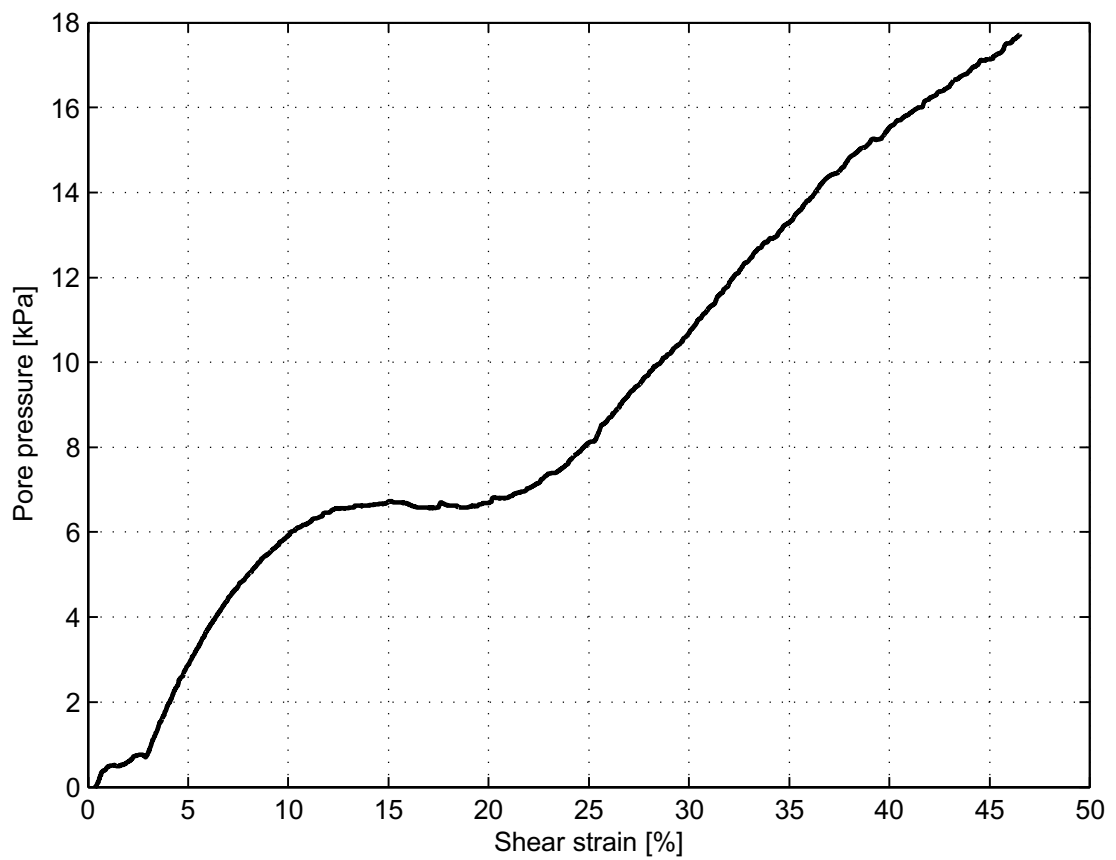
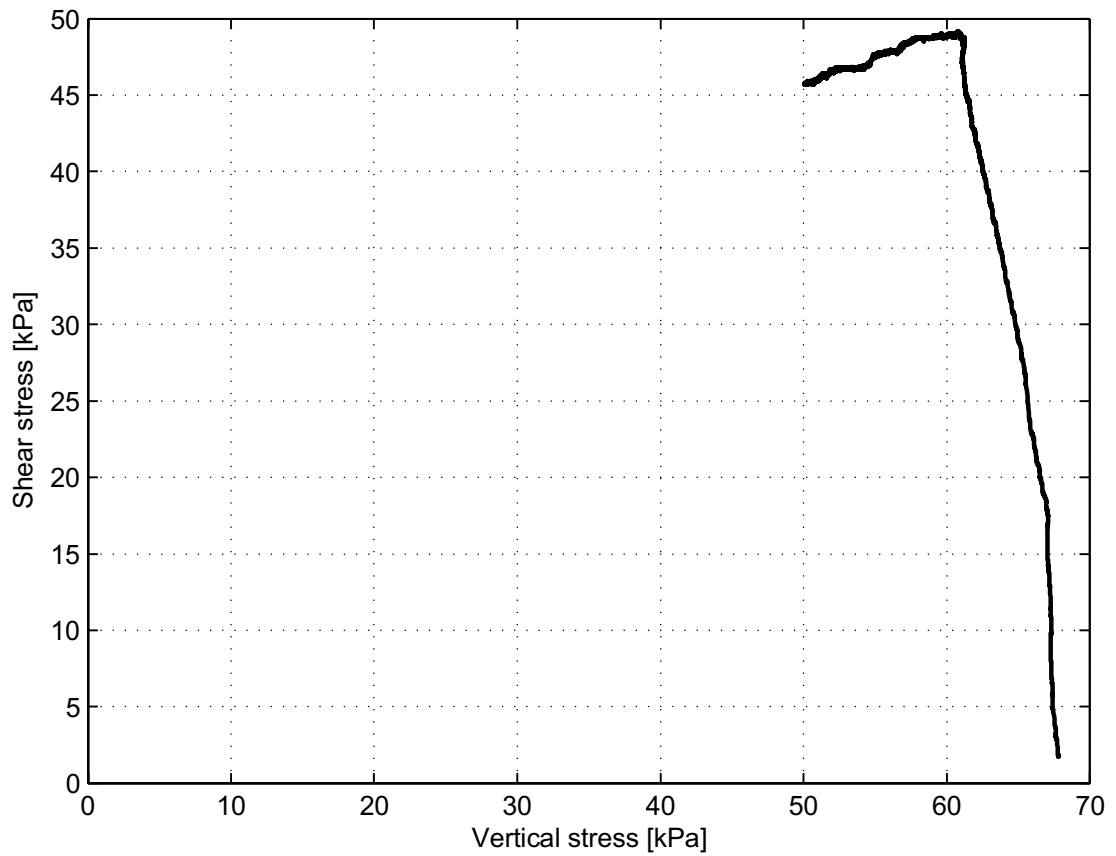
project  
1203768.18

seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS77BA

page  
1



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 77BA

project  
1203768.18

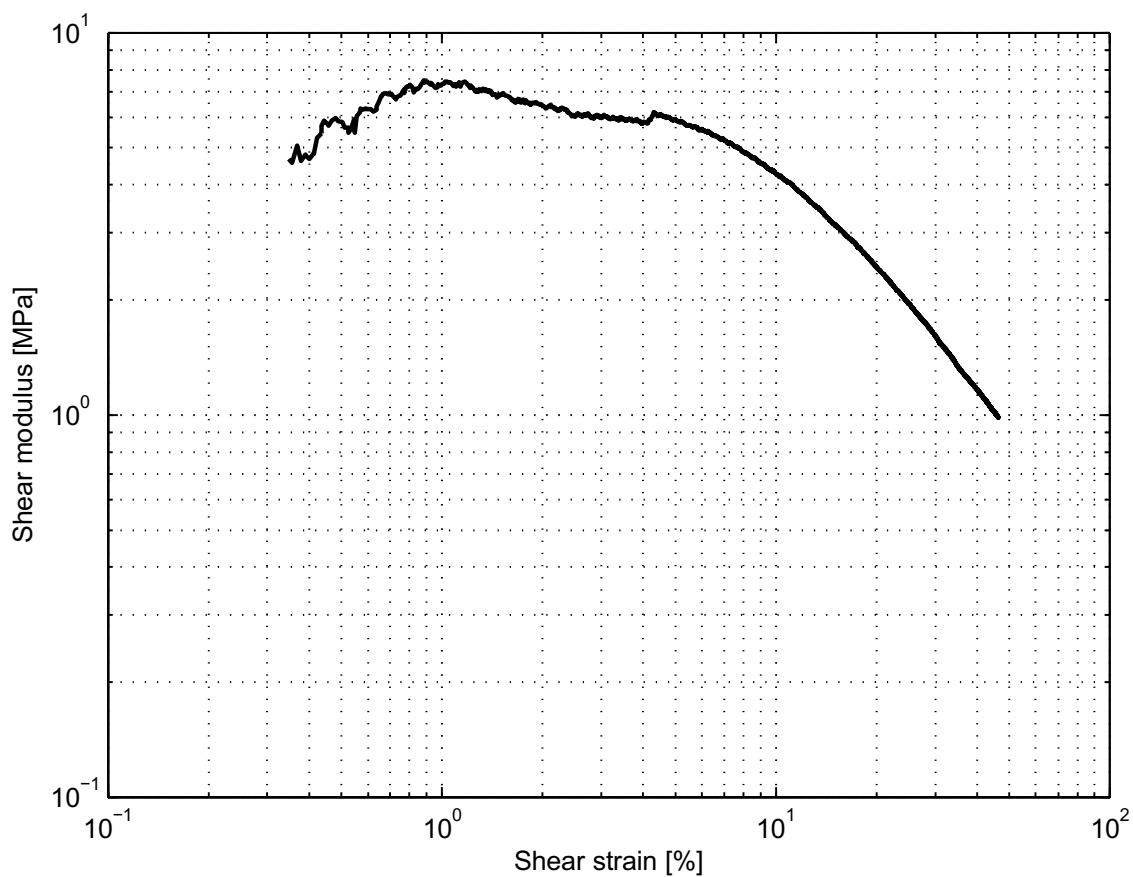
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS77BA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:47



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 77BA

project  
1203768.18

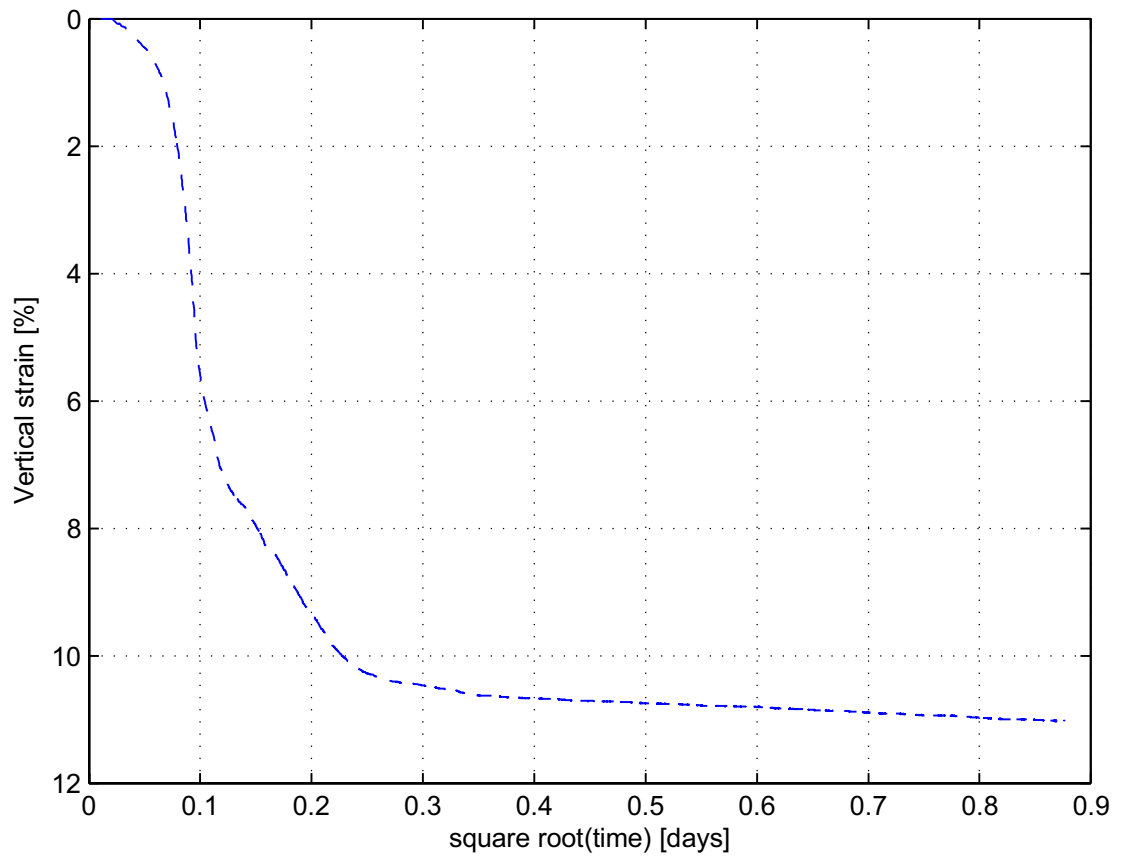
seen  
-

Direct Simple Shear Test

appendix  
DSS77BA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:47



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 77BA

project  
1203768.18

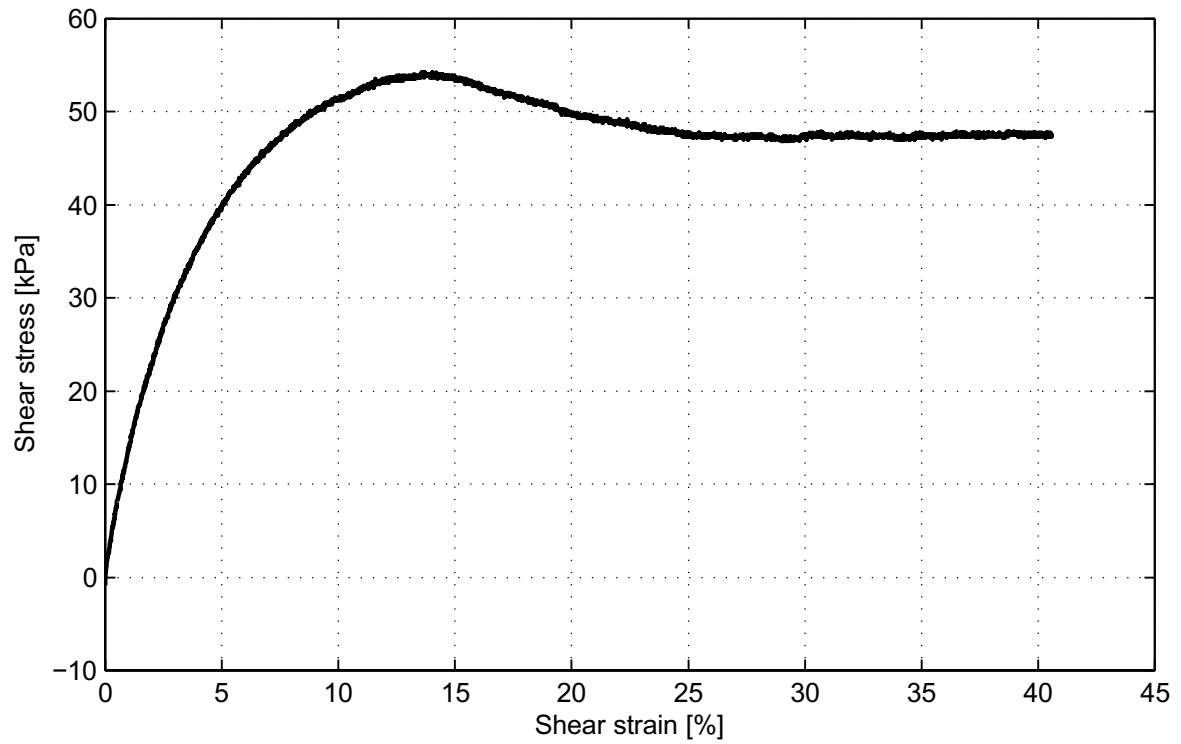
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS77BA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:47



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, mineraalarm
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	DSS-B
Sample identification	79CA
Bor. No.	B01_Dijk28_DP134_Kruin
Depth from NAP [m]	-7.16
Depth to NAP [m]	-7.21
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	1.03
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	351.7
$w$ (final) [%]	338.2
Strain rate [%/h]	8.0
Initial vertical stress [kPa]	74.1
Mean vertical stress [kPa]	58.7
Maximum shear stress [kPa]	54.2
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	63.6

**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 79CA

project  
1203768.18

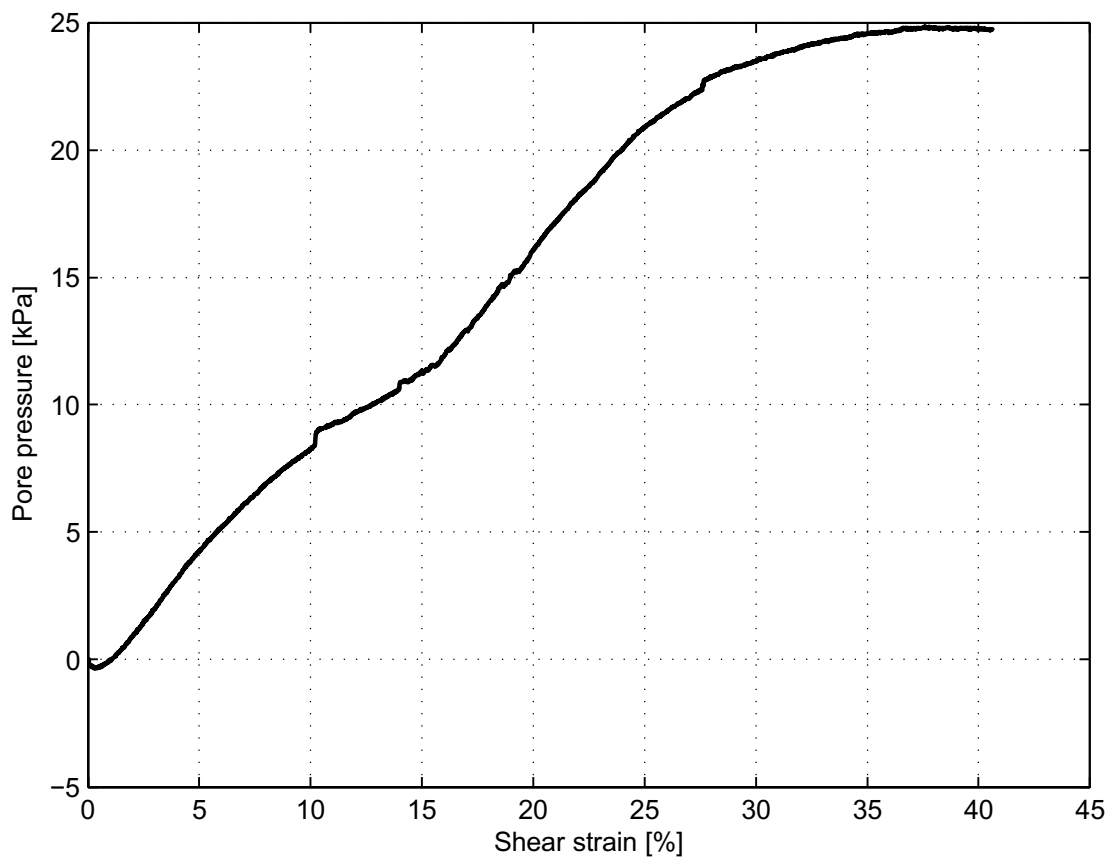
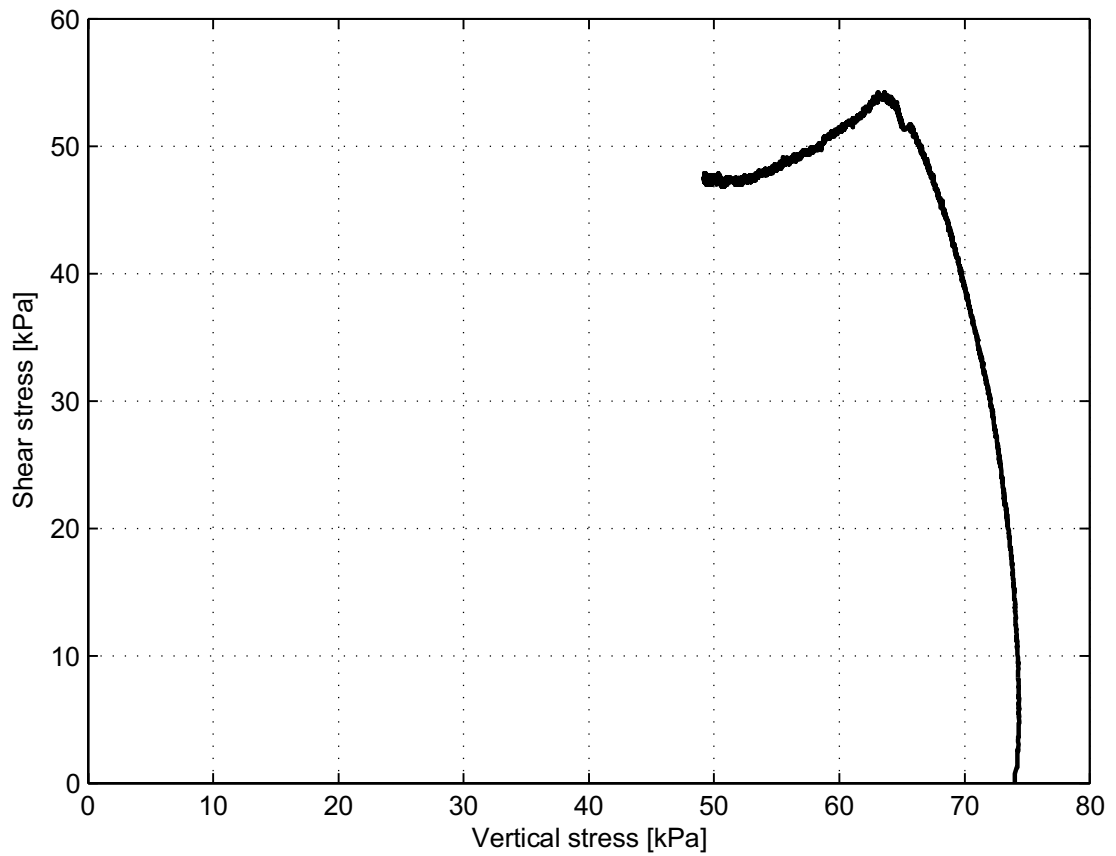
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS79CA

page  
1





**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 79CA

project  
1203768.18

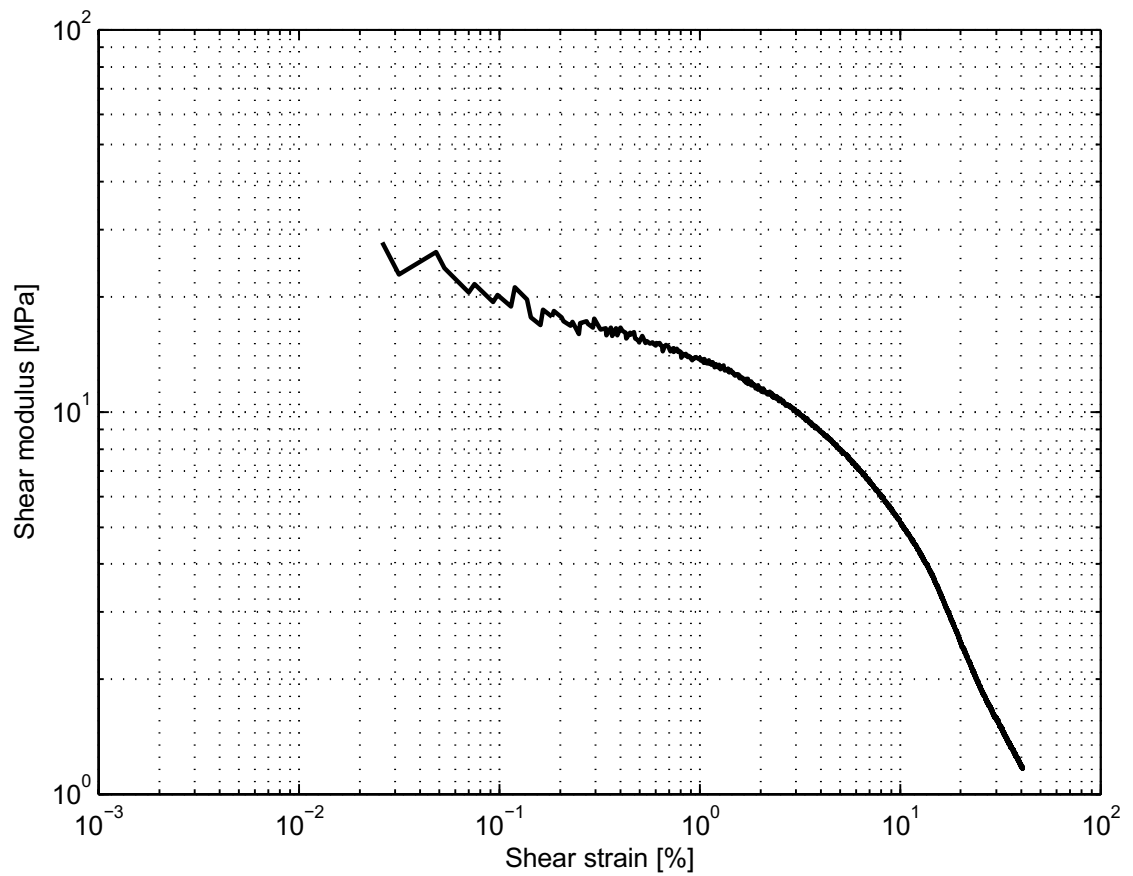
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS79CA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 11:56



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 79CA

project  
1203768.18

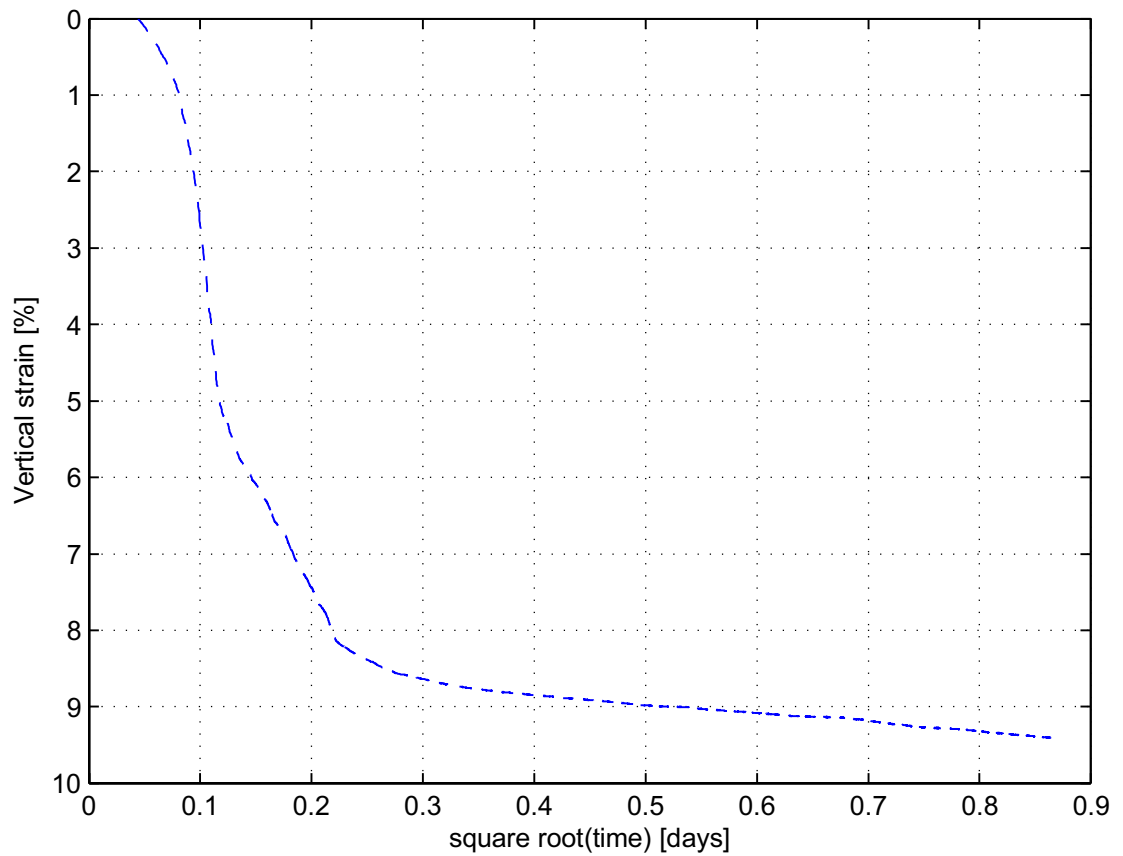
seen  
-

Direct Simple Shear Test

appendix  
DSS79CA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 11:56



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 79CA

project  
1203768.18

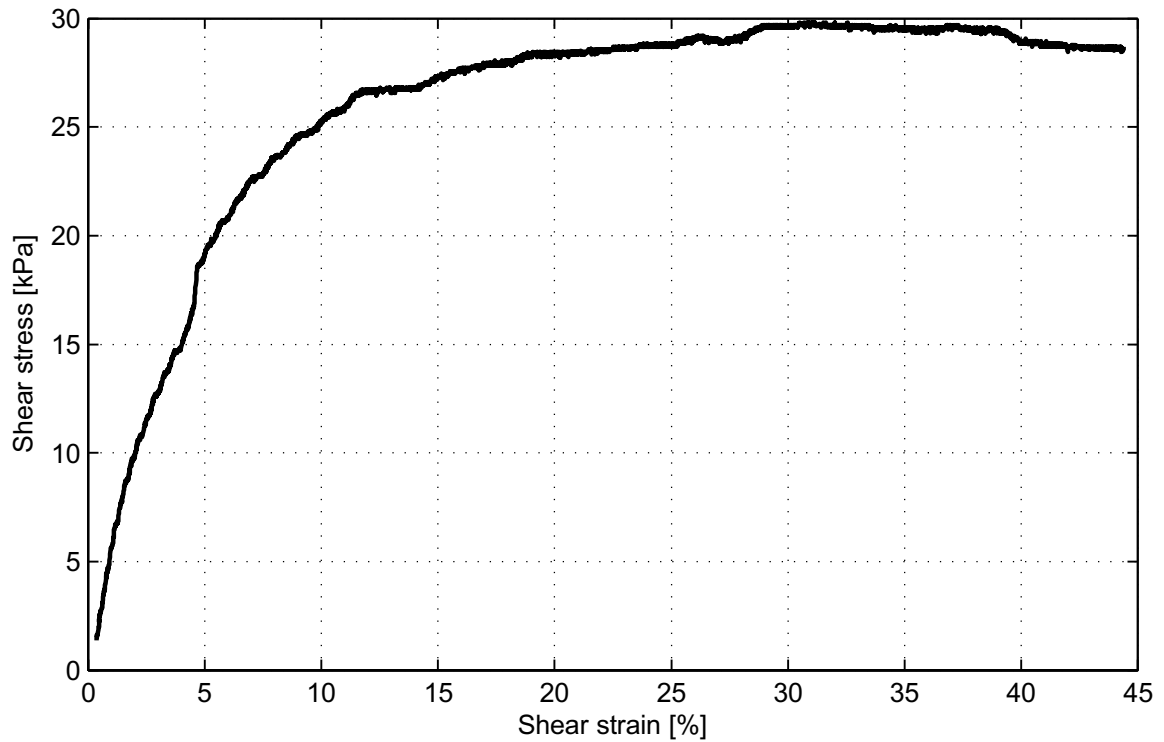
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS79CA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 11:56



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, mineraalarm
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	ASS
Sample identification	89EA
Bor. No.	B02_Dijk28_DP134_Middenberm
Depth from NAP [m]	-5.14
Depth to NAP [m]	-5.19
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	0.95
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	537.6
$w$ (final) [%]	492.9
Strain rate [%/h]	8.0
Initial vertical stress [kPa]	51.0
Mean vertical stress [kPa]	40.6
Maximum shear stress [kPa]	29.8
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	37.8

**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 89EA

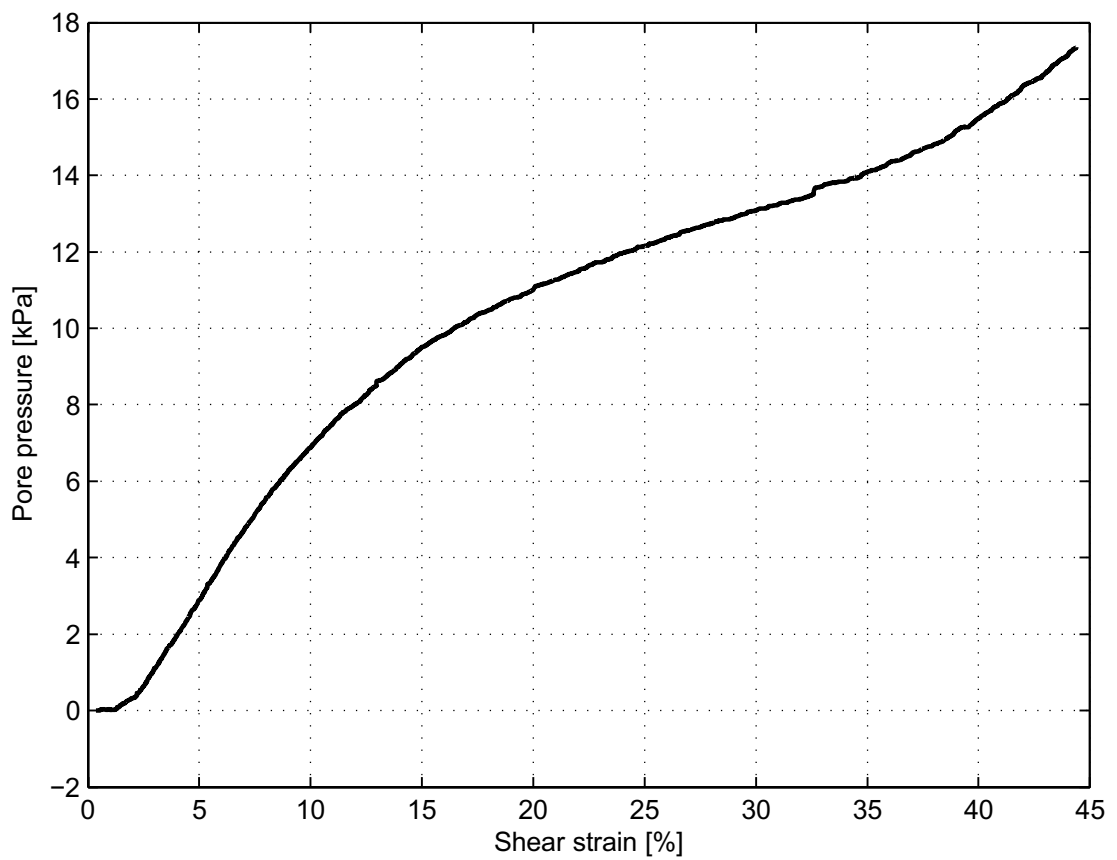
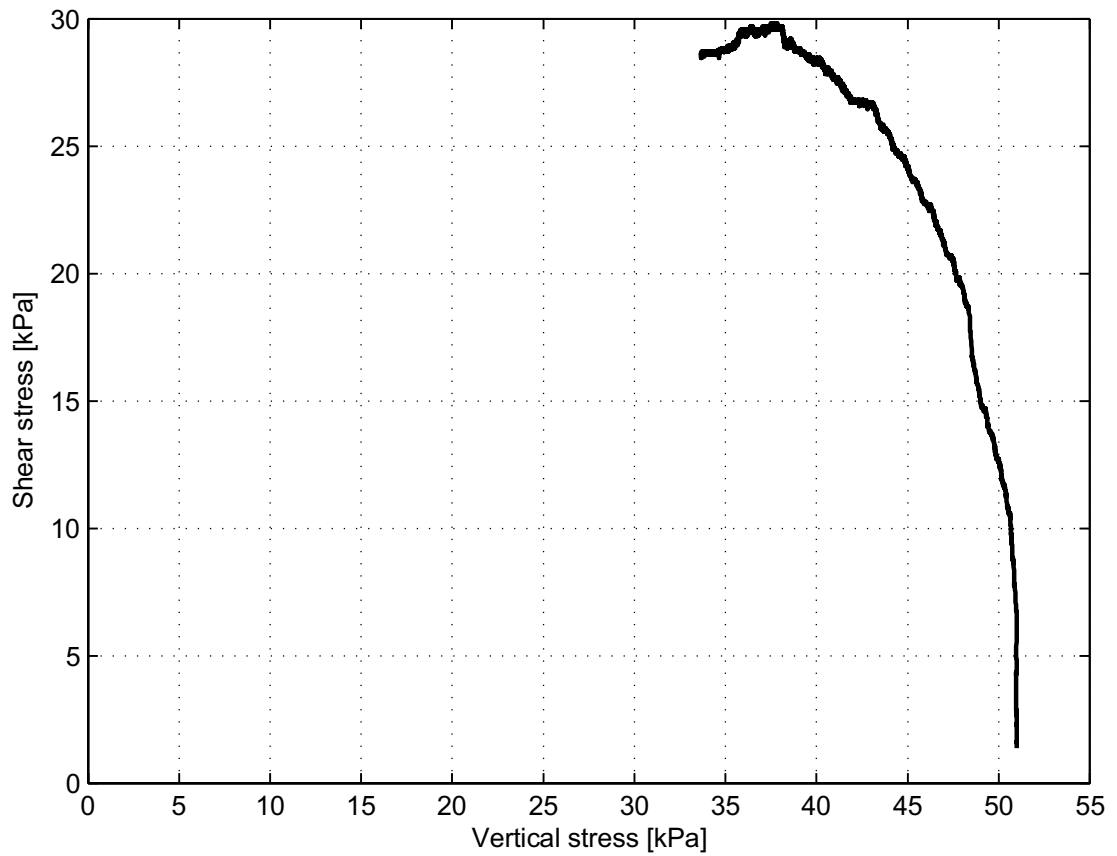
project  
1203768.18

seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS89EA

page  
1



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 89EA

project  
1203768.18

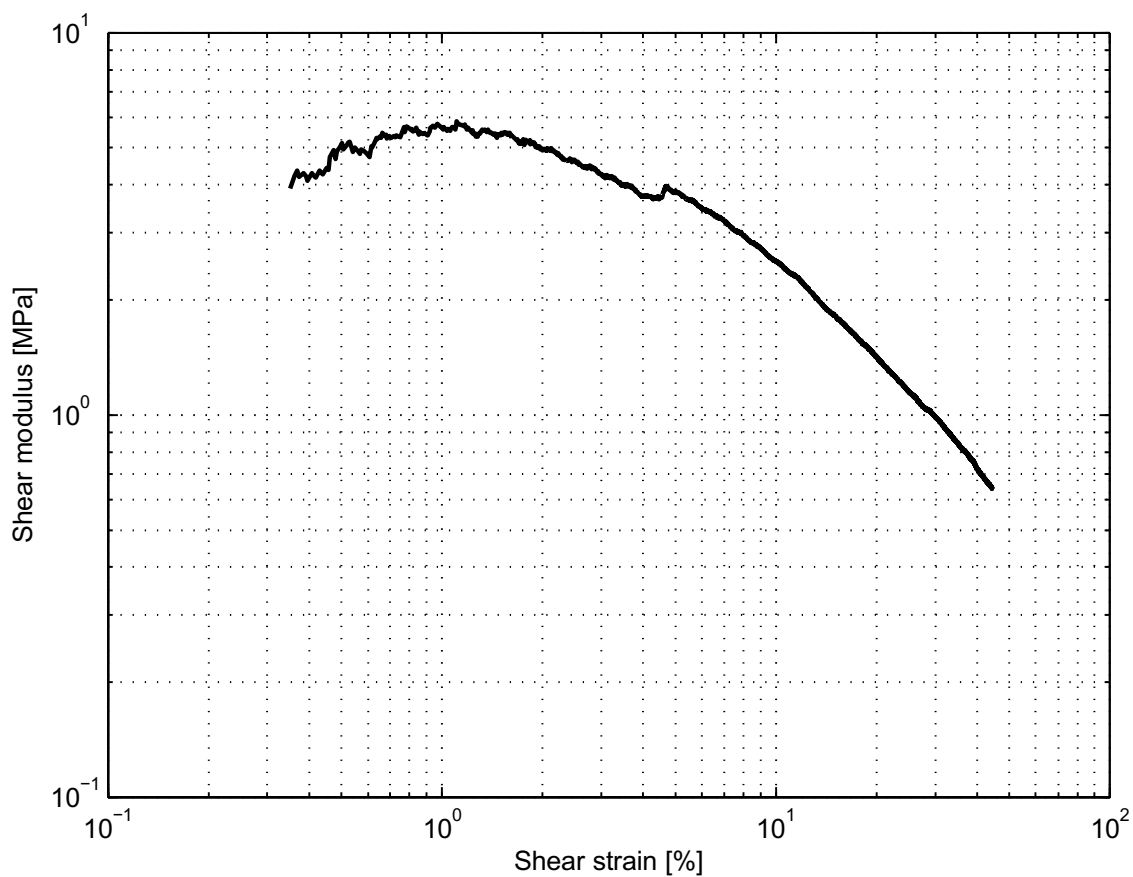
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS89EA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:43



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 89EA

project  
1203768.18

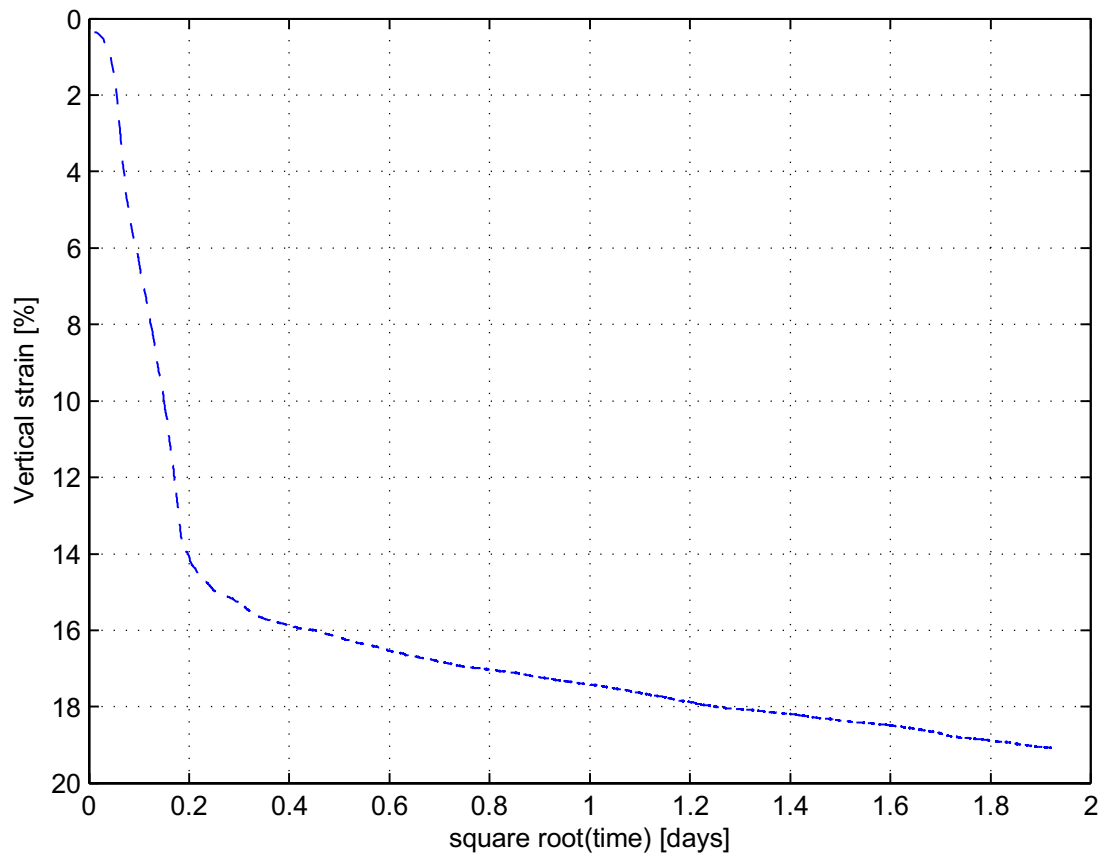
seen  
-

Direct Simple Shear Test

appendix  
DSS89EA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:43



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 89EA

project  
1203768.18

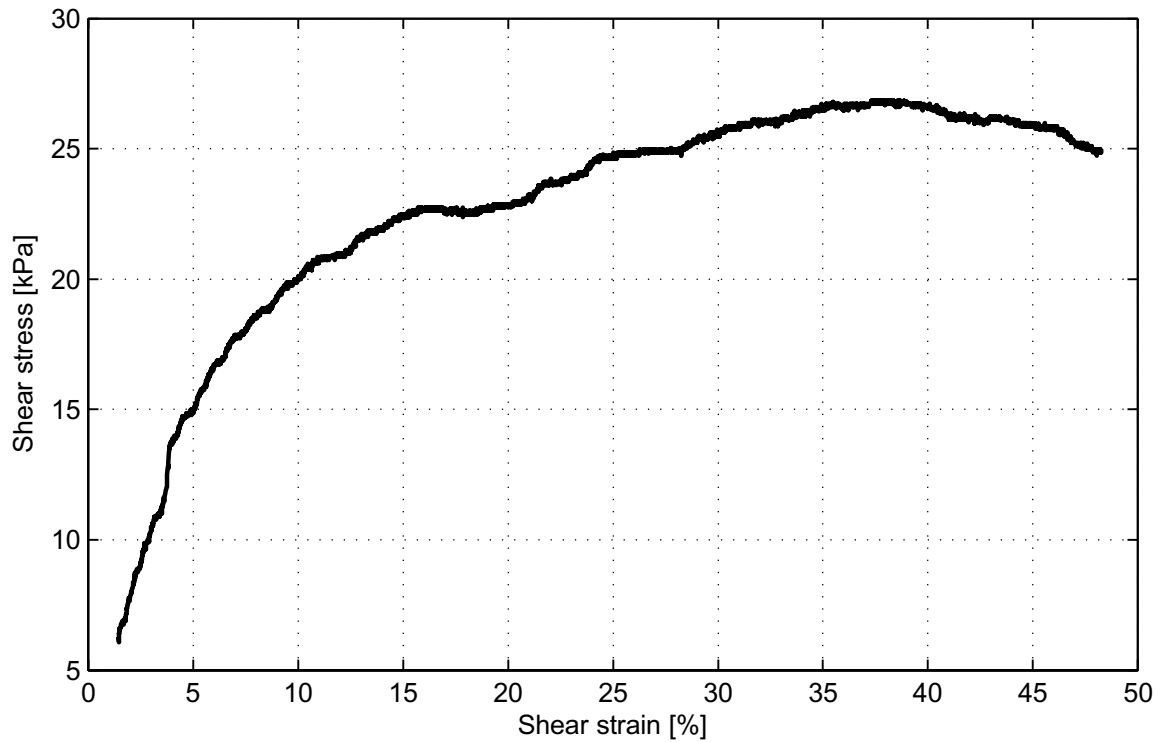
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS89EA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:43



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, mineraalarm
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	ASS
Sample identification	97AA
Bor. No.	B02_Dijk20_DP34_Bin-teen
Depth from NAP [m]	-2.19
Depth to NAP [m]	-2.24
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	1.06
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	297.1
$w$ (final) [%]	293.3
Strain rate [%/h]	8.0
Initial vertical stress [kPa]	12.4
Mean vertical stress [kPa]	19.2
Maximum shear stress [kPa]	26.9
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	23.9

**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 97AA

project  
1203768.18

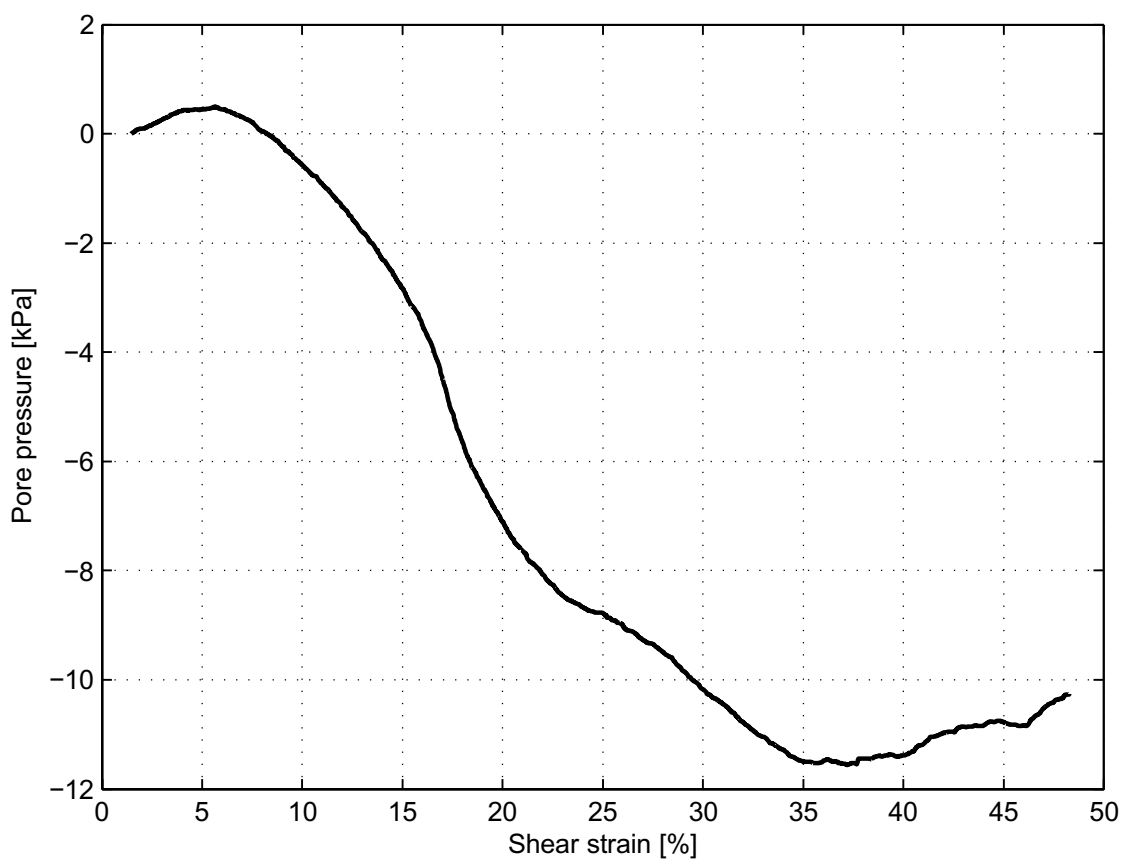
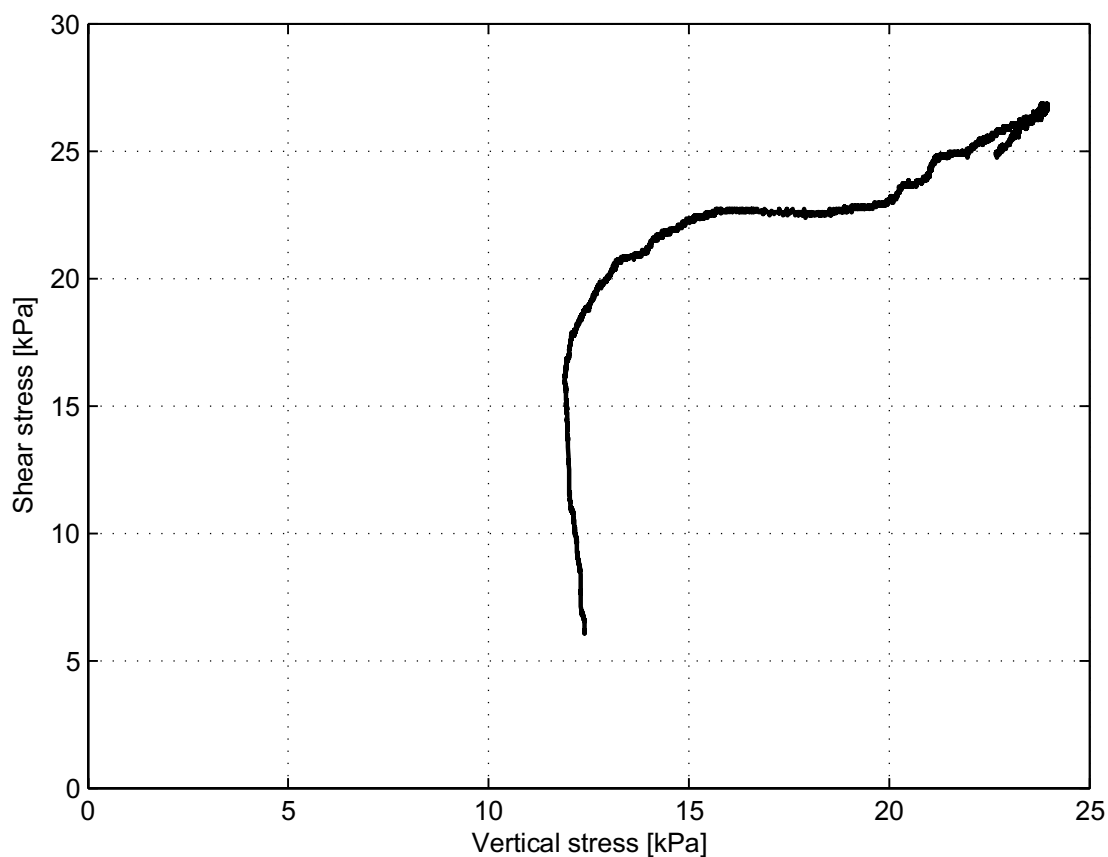
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS97AA

page  
1





**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 97AA

project  
1203768.18

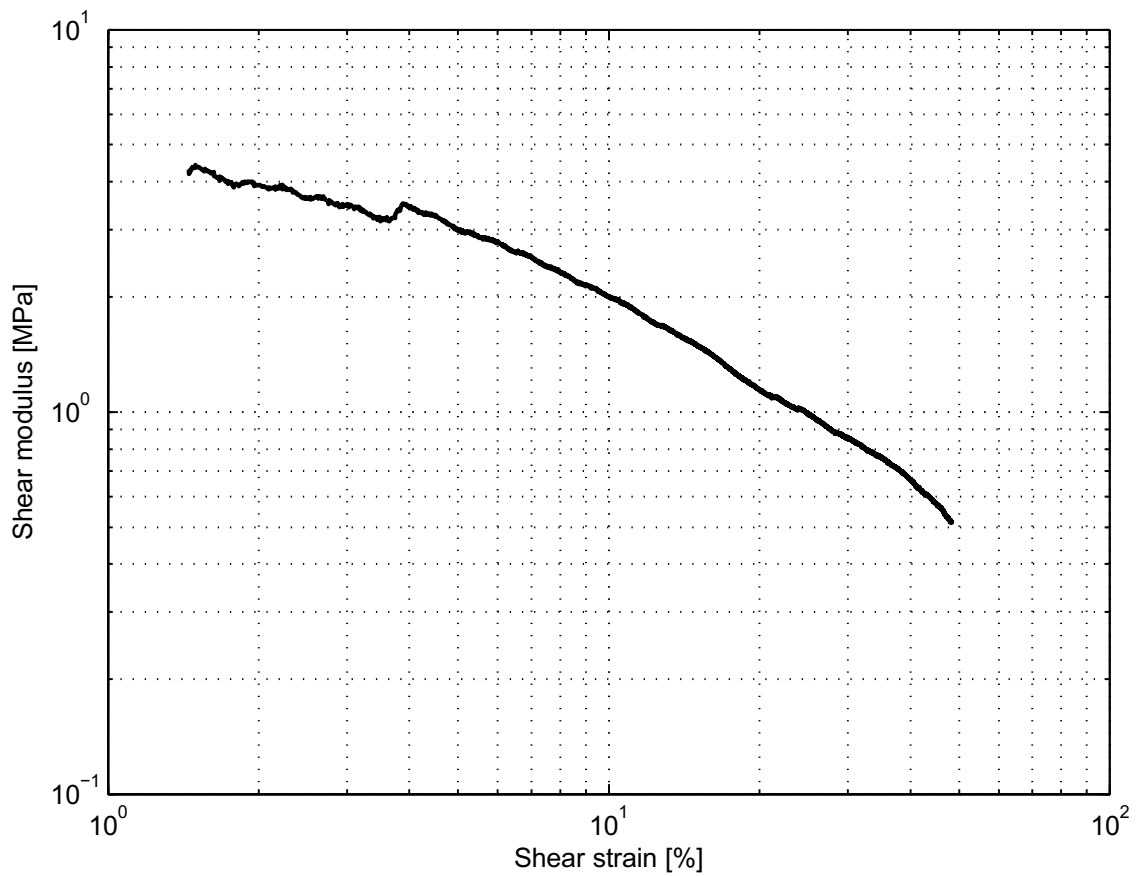
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS97AA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:42



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 97AA

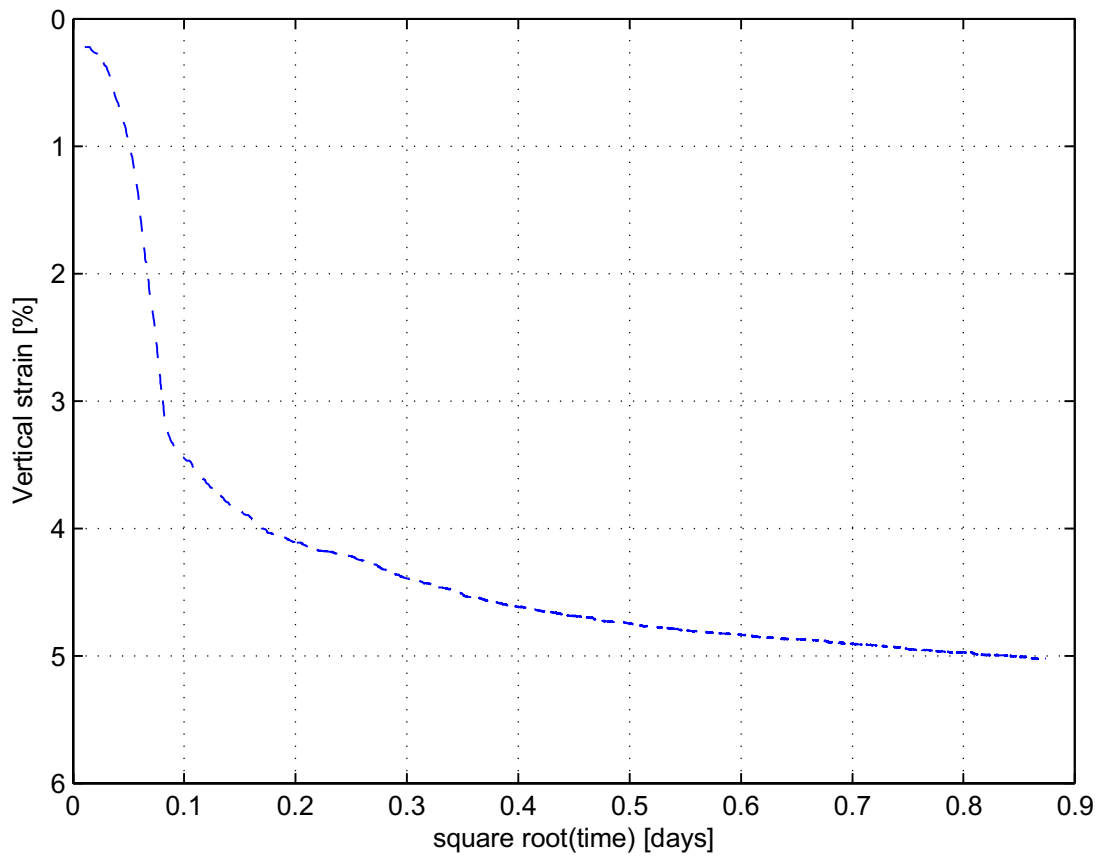
project  
1203768.18

seen  
-

Direct Simple Shear Test

appendix  
DSS97AA

page  
3



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 97AA

project  
1203768.18

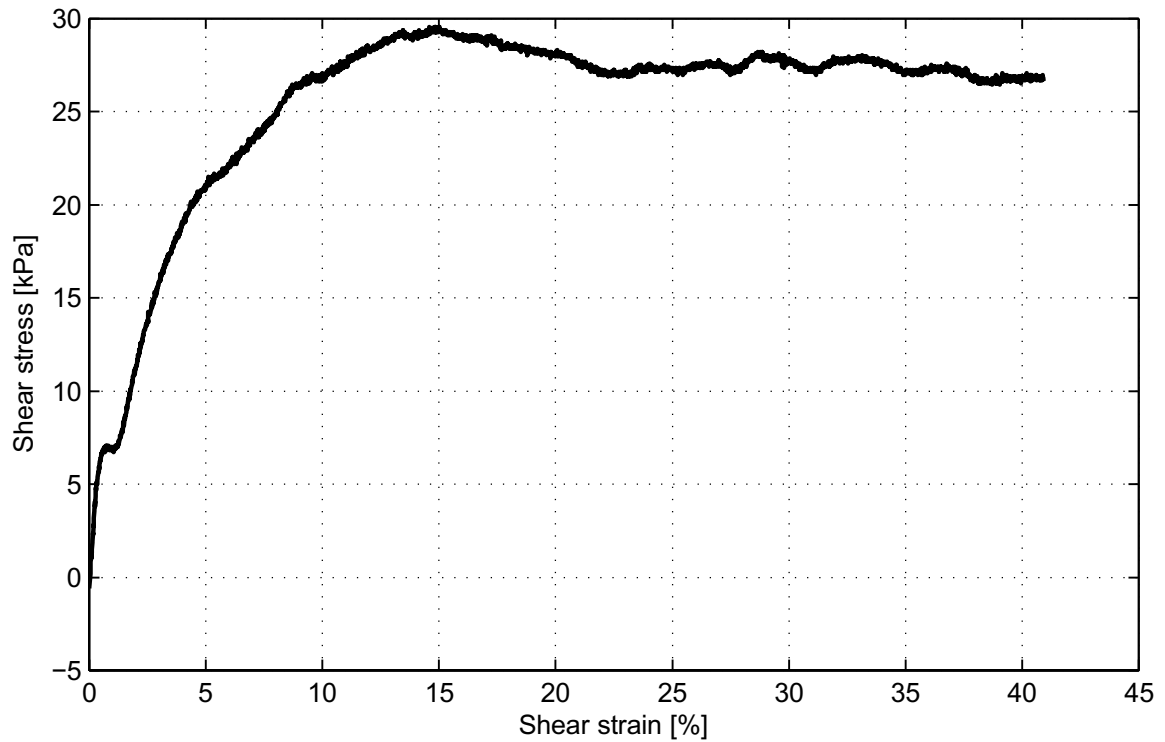
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS97AA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 13:42



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, mineraalarm
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	DSS-A
Sample identification	99AA
Bor. No.	B02_Dijk20_DP34_Bin-teen
Depth from NAP [m]	-4.21
Depth to NAP [m]	-4.26
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	1.12
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	369.2
$w$ (final) [%]	228.9
Strain rate [%/h]	8.0
Initial vertical stress [kPa]	18.9
Mean vertical stress [kPa]	25.2
Maximum shear stress [kPa]	29.6
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	26.8

**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 99AA

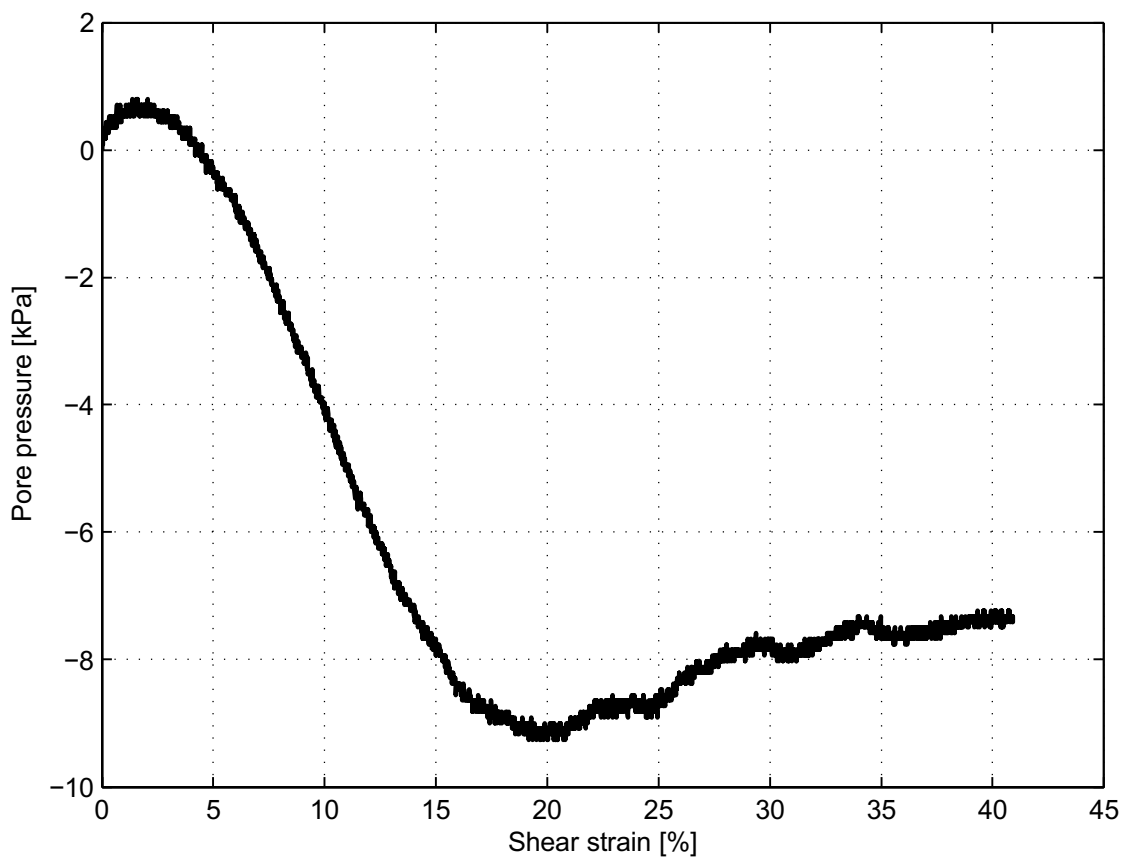
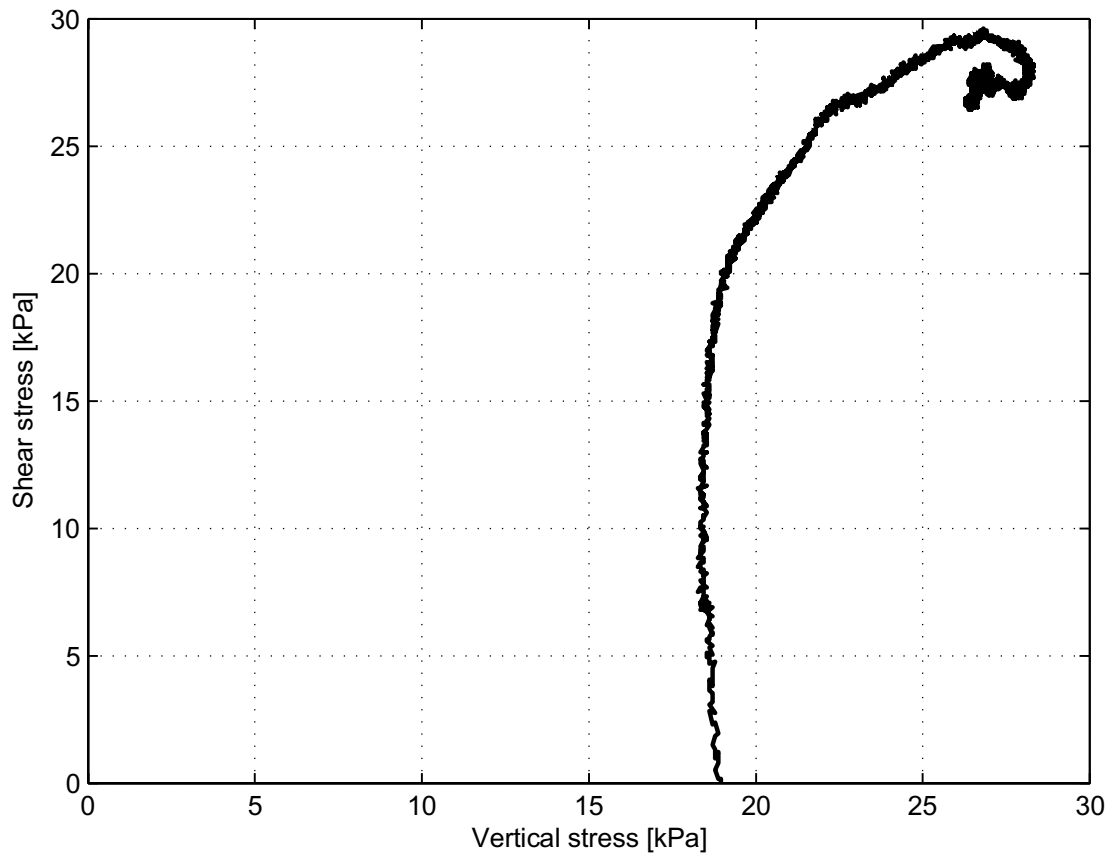
project  
1203768.18

seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS99AA

page  
1



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 99AA

project  
1203768.18

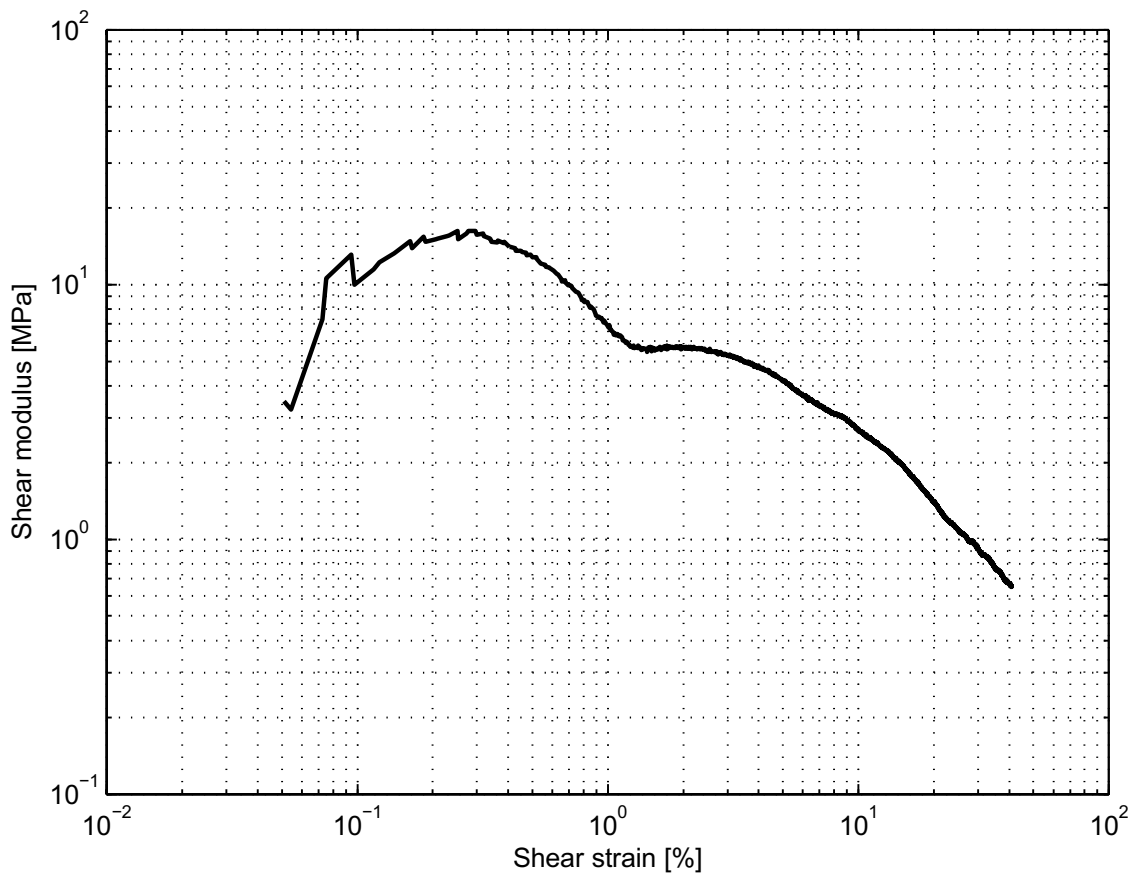
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS99AA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 11:52



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 99AA

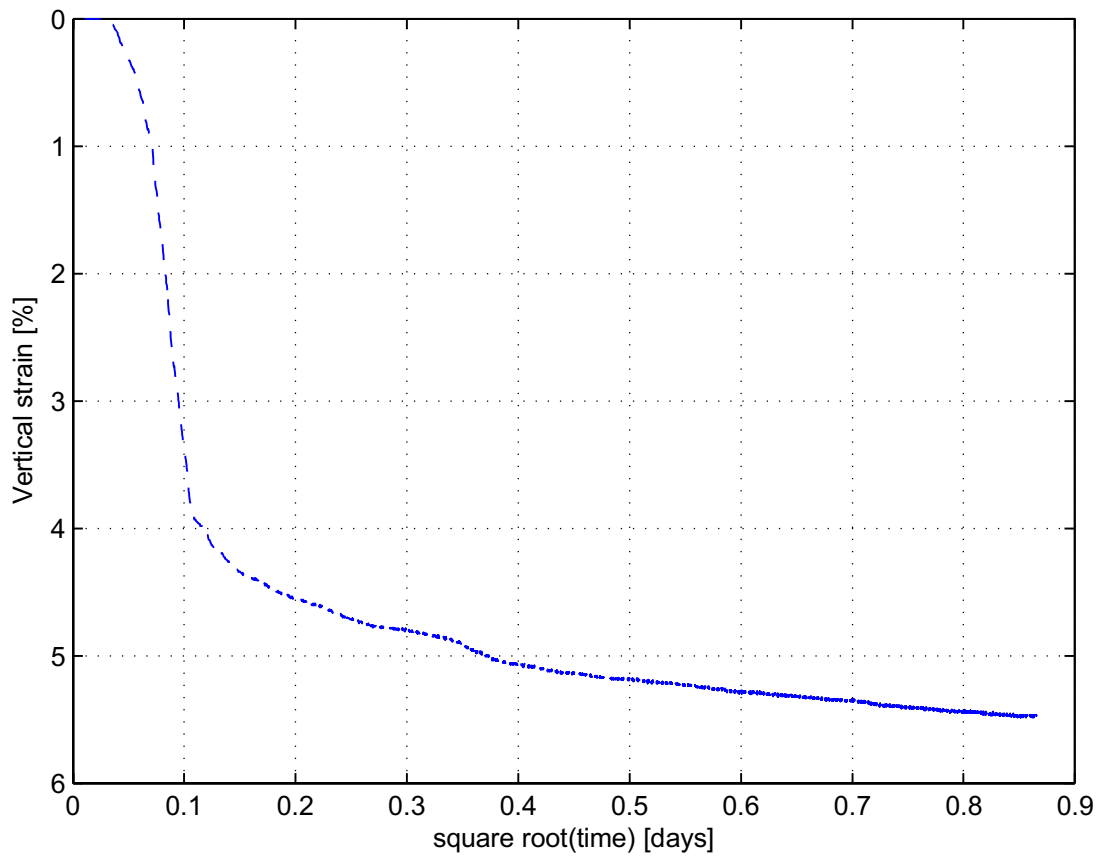
project  
1203768.18

seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS99AA

page  
3



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 99AA

project  
1203768.18

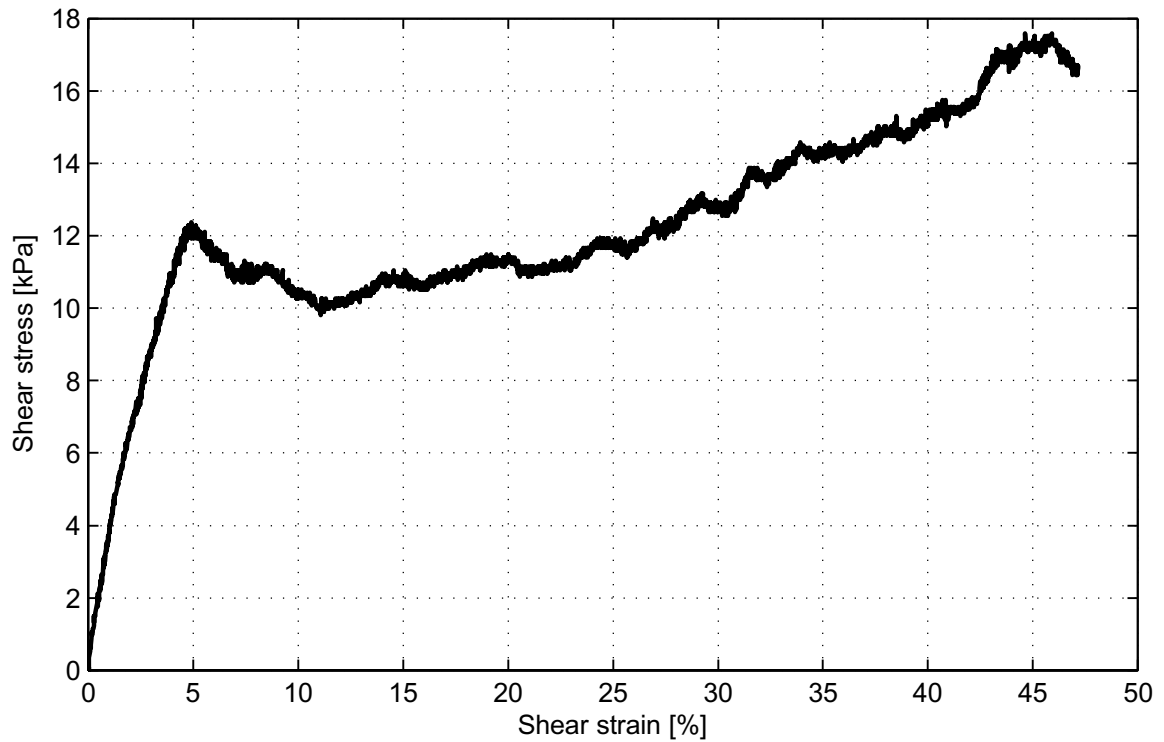
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS99AA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 11:52



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, mineraalarm
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	DSS-A
Sample identification	105BA
Bor. No.	B03_Dijk28_DP134_Achterland
Depth from NAP [m]	-2.21
Depth to NAP [m]	-2.26
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	1.02
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	316.9
$w$ (final) [%]	315.9
Strain rate [%/h]	8.0
Initial vertical stress [kPa]	17.9
Mean vertical stress [kPa]	15.7
Maximum shear stress [kPa]	12.4
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	16.3

- Maximale schuifsterkte is bepaald bij eerste piek.

**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 105BA

project  
1203768.18

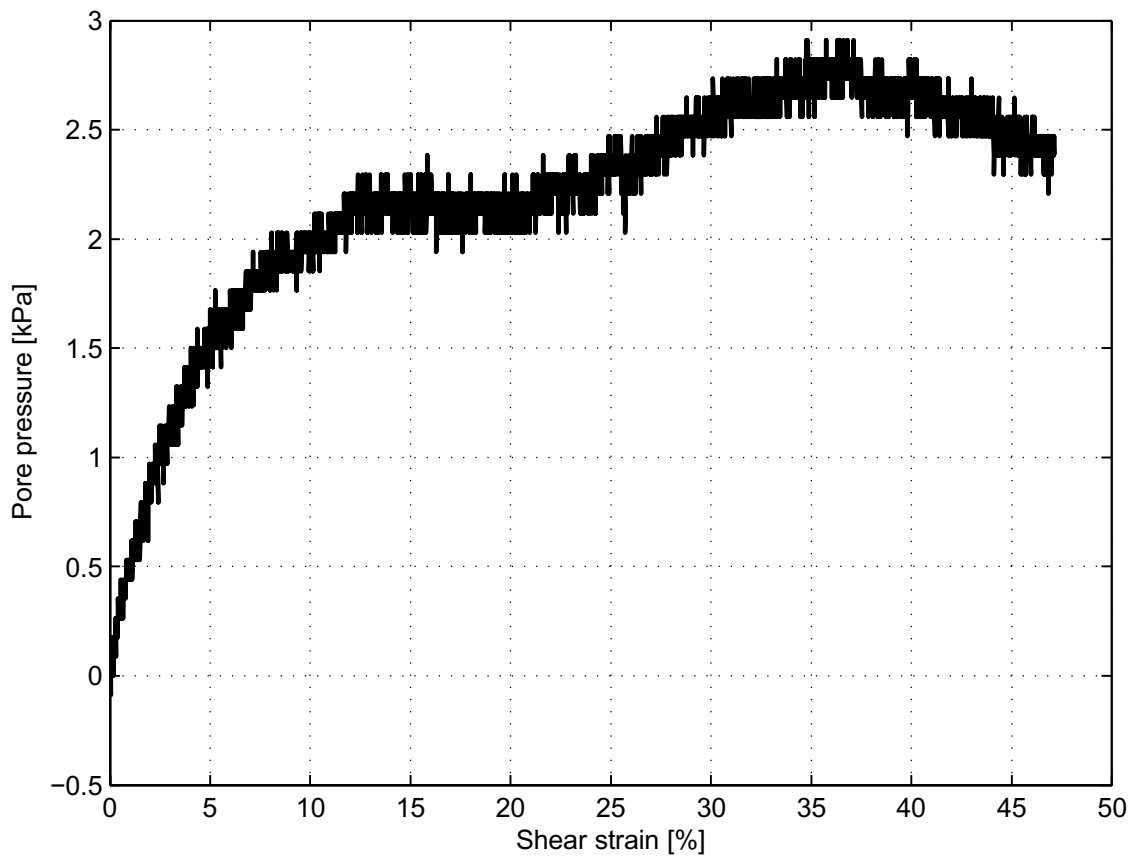
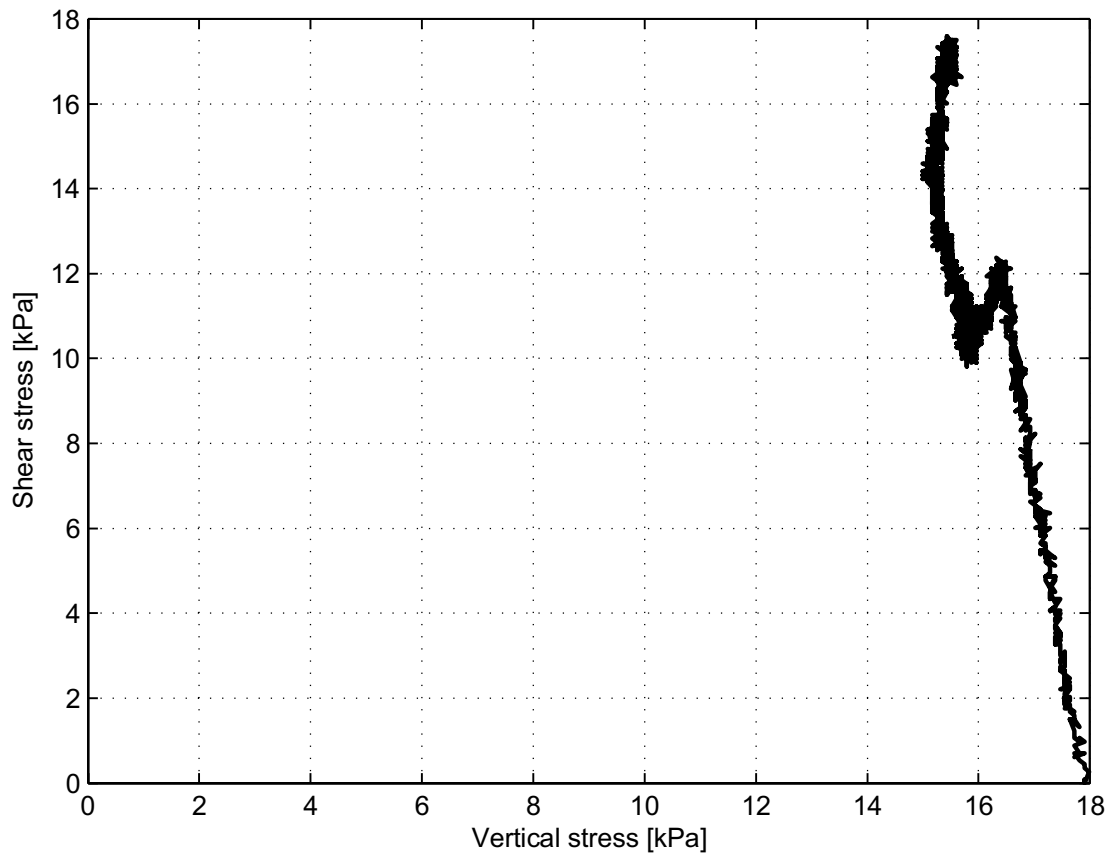
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS105BA

page  
1





**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 105BA

project  
1203768.18

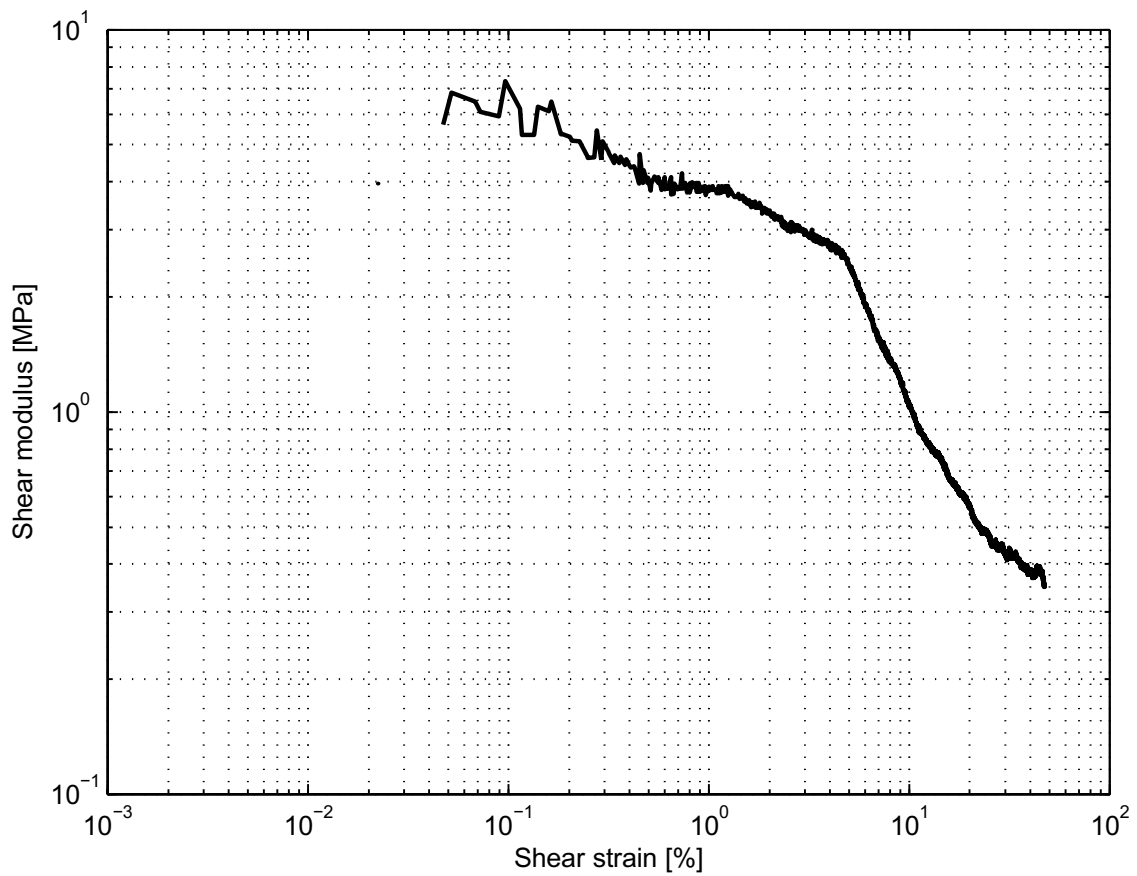
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS105BA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 16:21



**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  
2012-05-08

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 105BA

project  
1203768.18

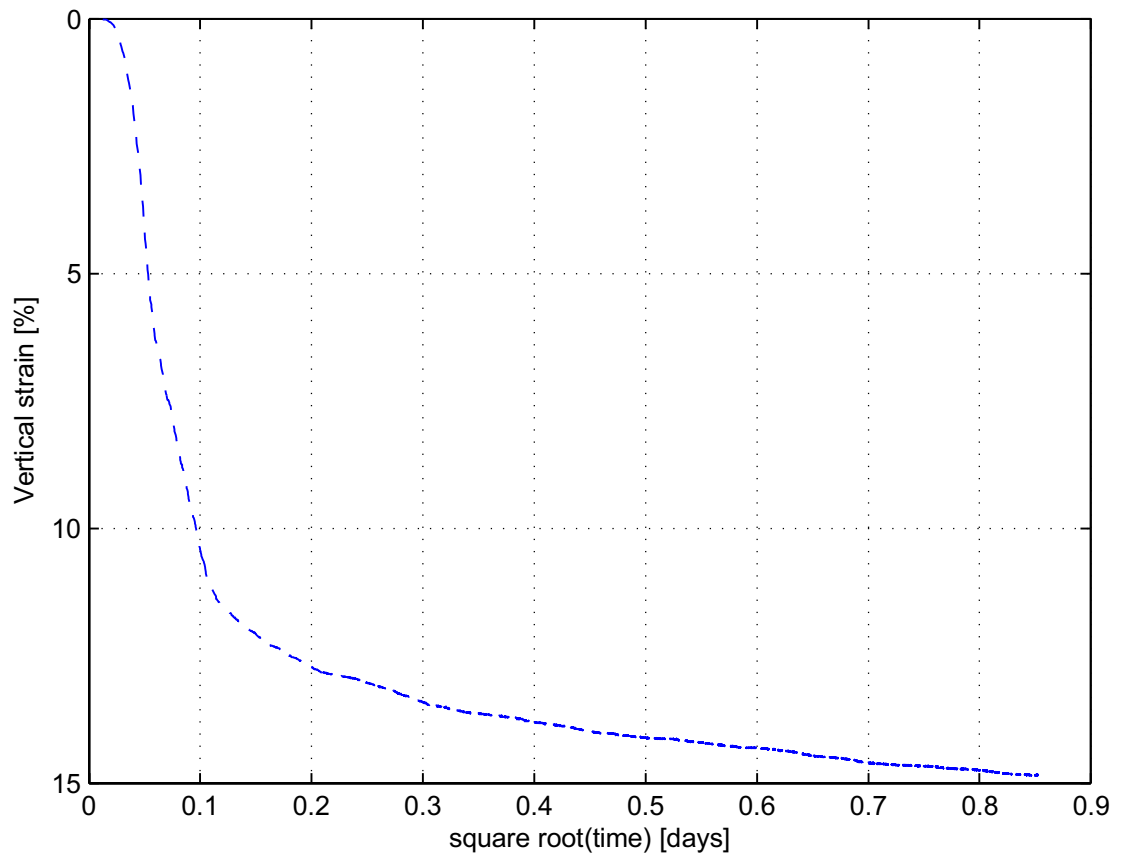
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS105BA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 16:21



**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  
2012-05-08

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 105BA

project  
1203768.18

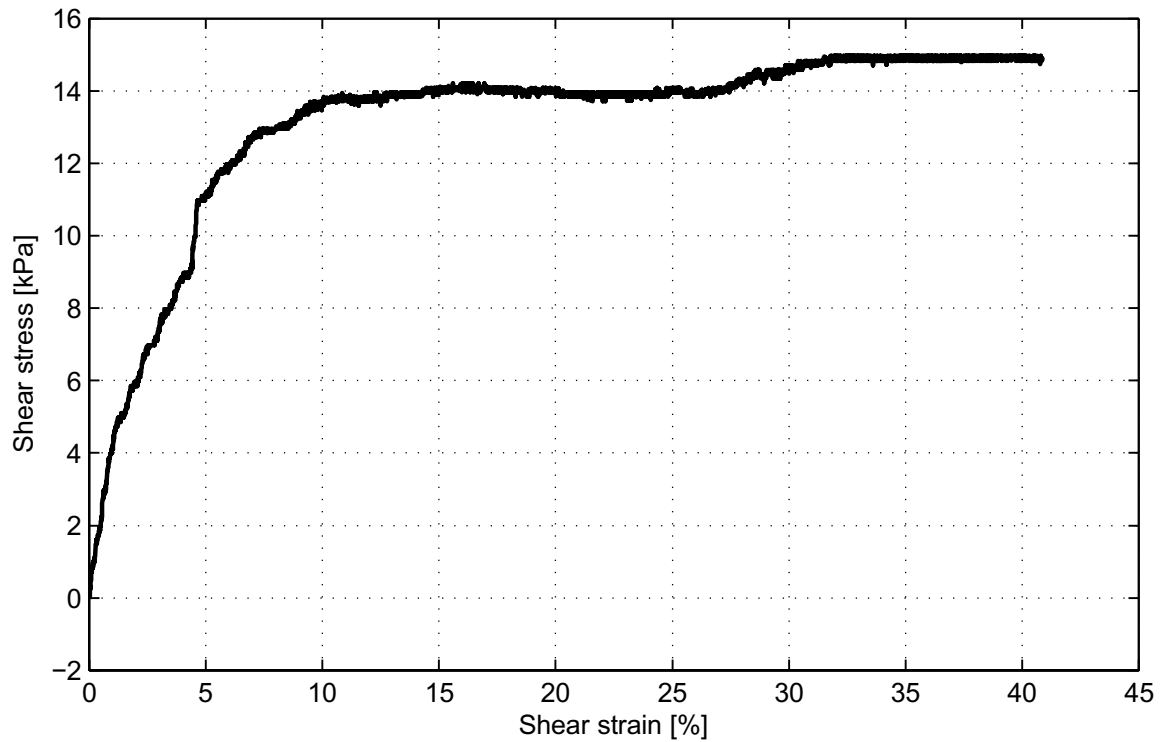
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS105BA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 16:21



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, mineraalarm
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	ASS
Sample identification	107AA
Bor. No.	B03_Dijk28_DP134_Achterland
Depth from NAP [m]	-3.48
Depth to NAP [m]	-3.53
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	0.94
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	763.0
$w$ (final) [%]	679.2
Strain rate [%/h]	8.0
Initial vertical stress [kPa]	18.0
Mean vertical stress [kPa]	13.2
Maximum shear stress [kPa]	15.0
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	12.0

**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 107AA

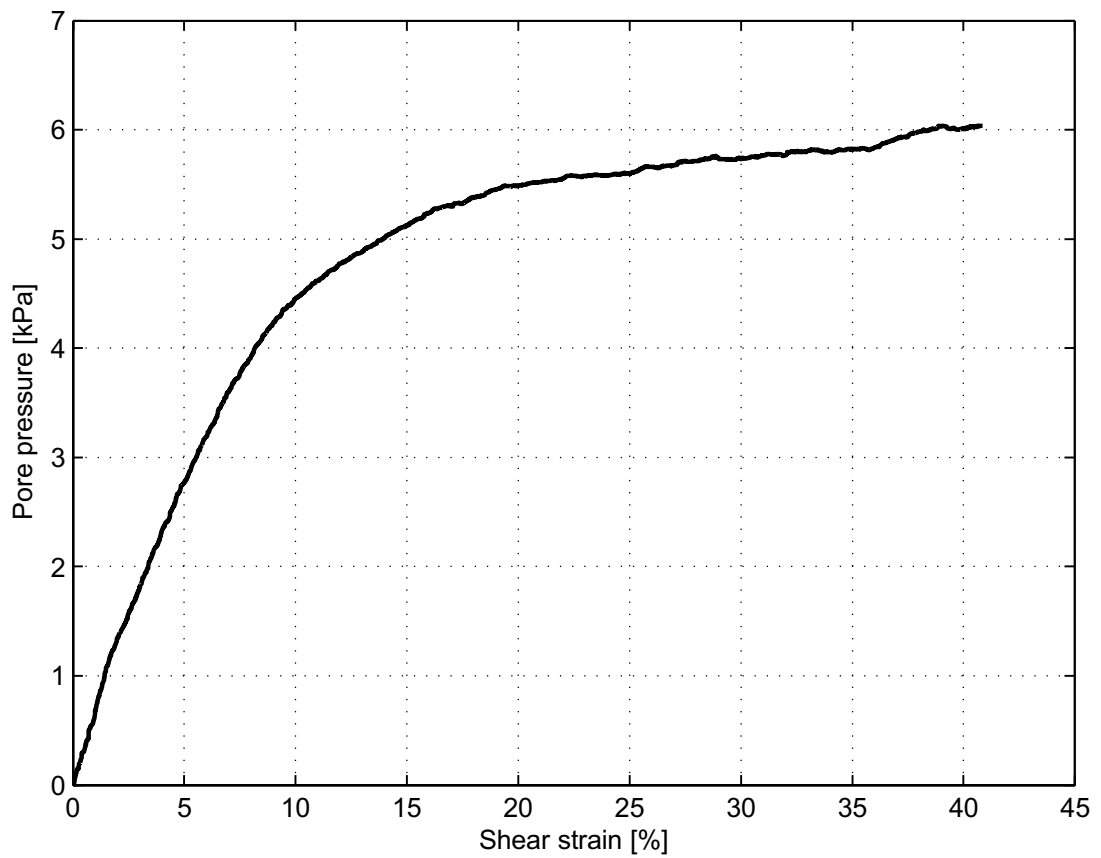
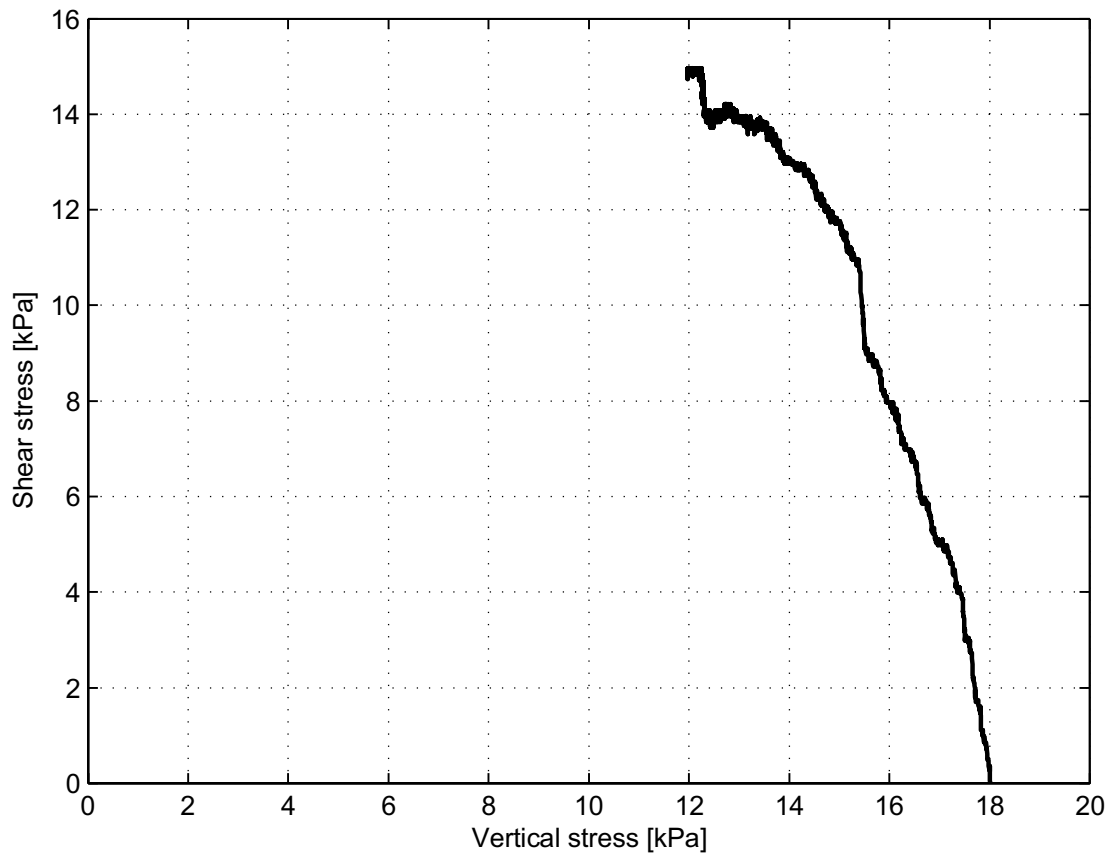
project  
1203768.18

seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS107AA

page  
1



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 107AA

project  
1203768.18

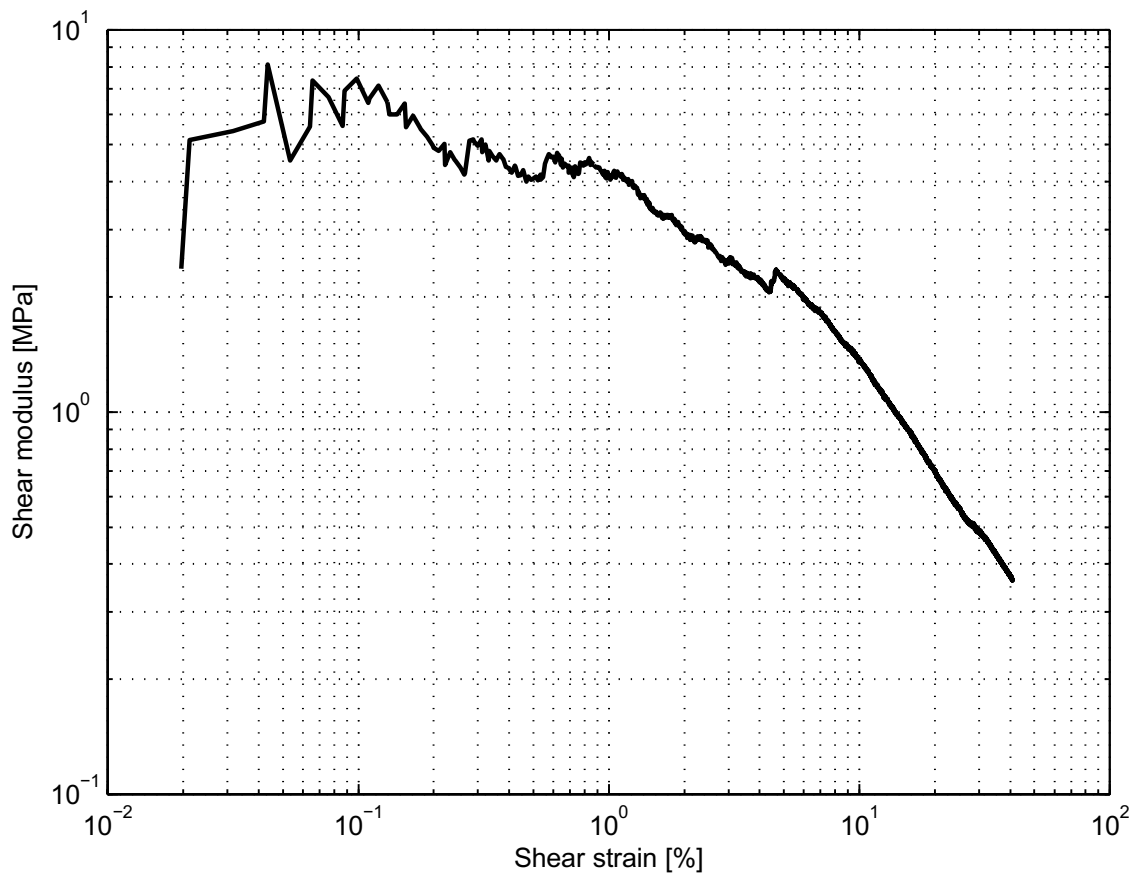
seen  
-

Direct Simple Shear Test

appendix  
DSS107AA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 09:57



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 107AA

project  
1203768.18

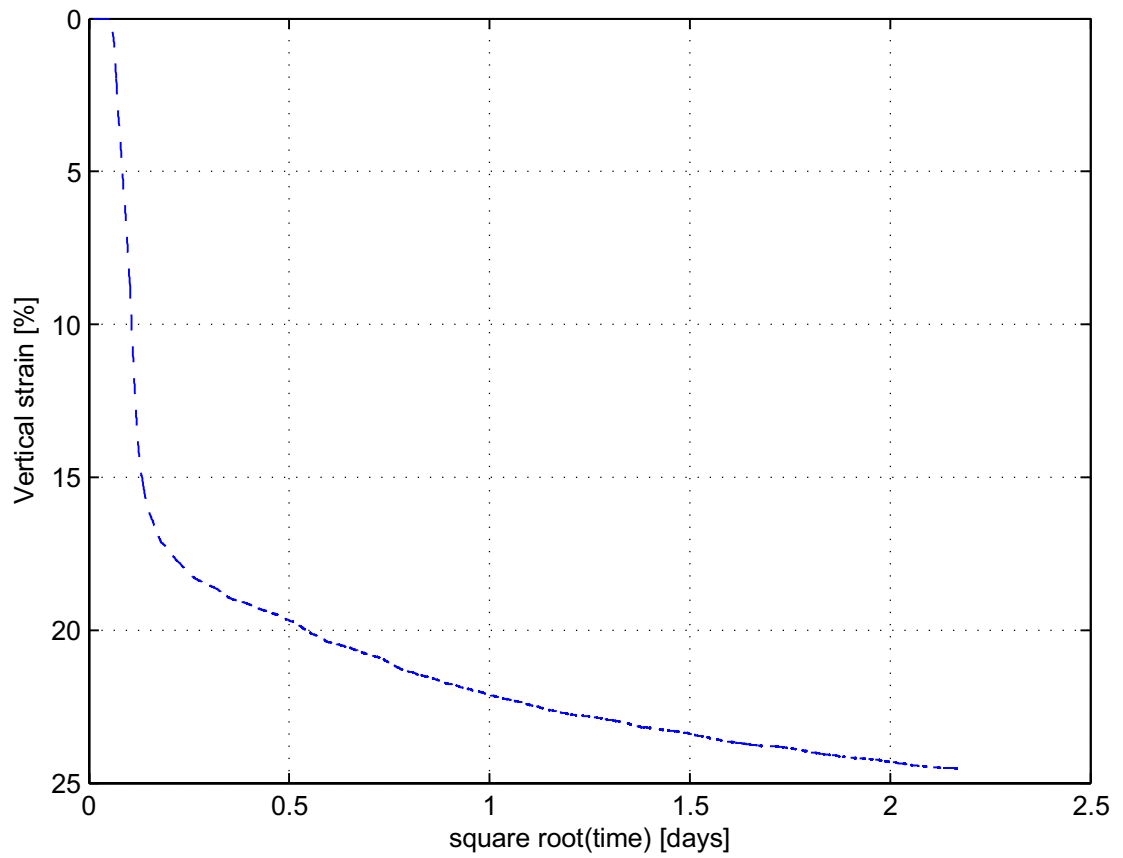
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS107AA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 09:57



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 107AA

project  
1203768.18

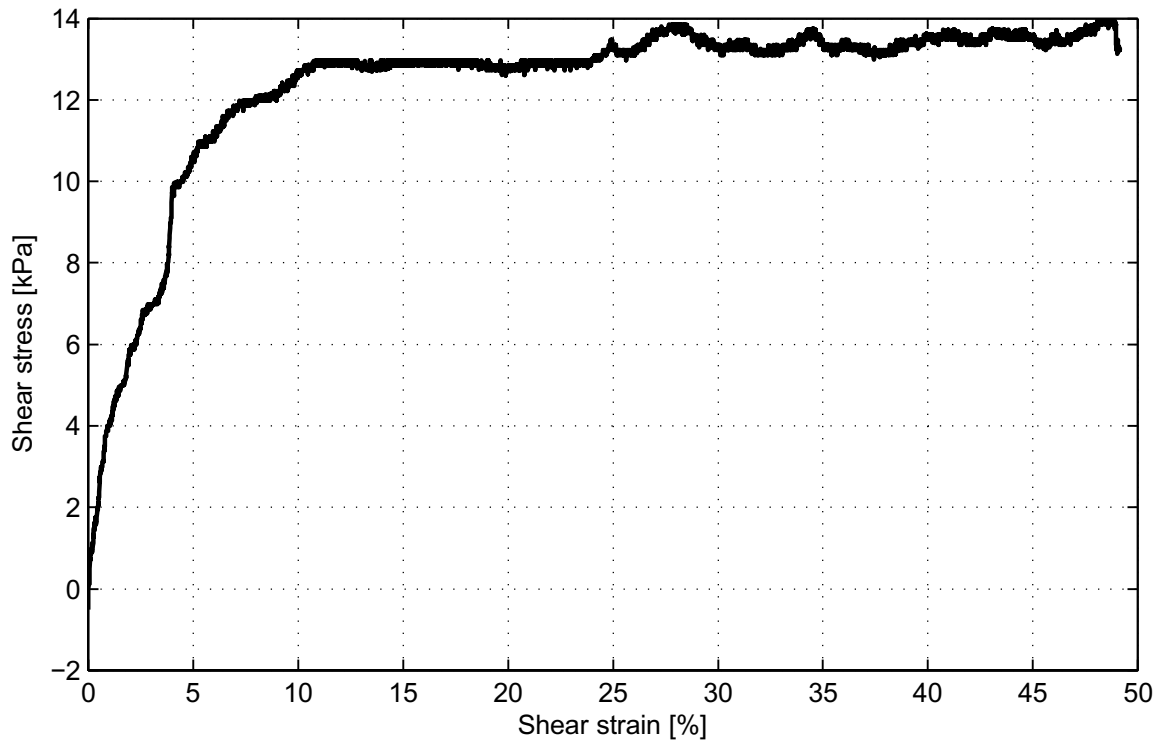
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS107AA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 09:57



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, mineraalarm
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	ASS
Sample identification	108CA
Bor. No.	B03_Dijk28_DP134_Achterland
Depth from NAP [m]	-4.89
Depth to NAP [m]	-4.94
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	0.97
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	726.6
$w$ (final) [%]	693.9
Strain rate [%/h]	8.0
Initial vertical stress [kPa]	18.0
Mean vertical stress [kPa]	12.9
Maximum shear stress [kPa]	14.0
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	11.1

- Monster iets aangesmeerd, diameter te klein.

**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 108CA

project  
1203768.18

seen  
-

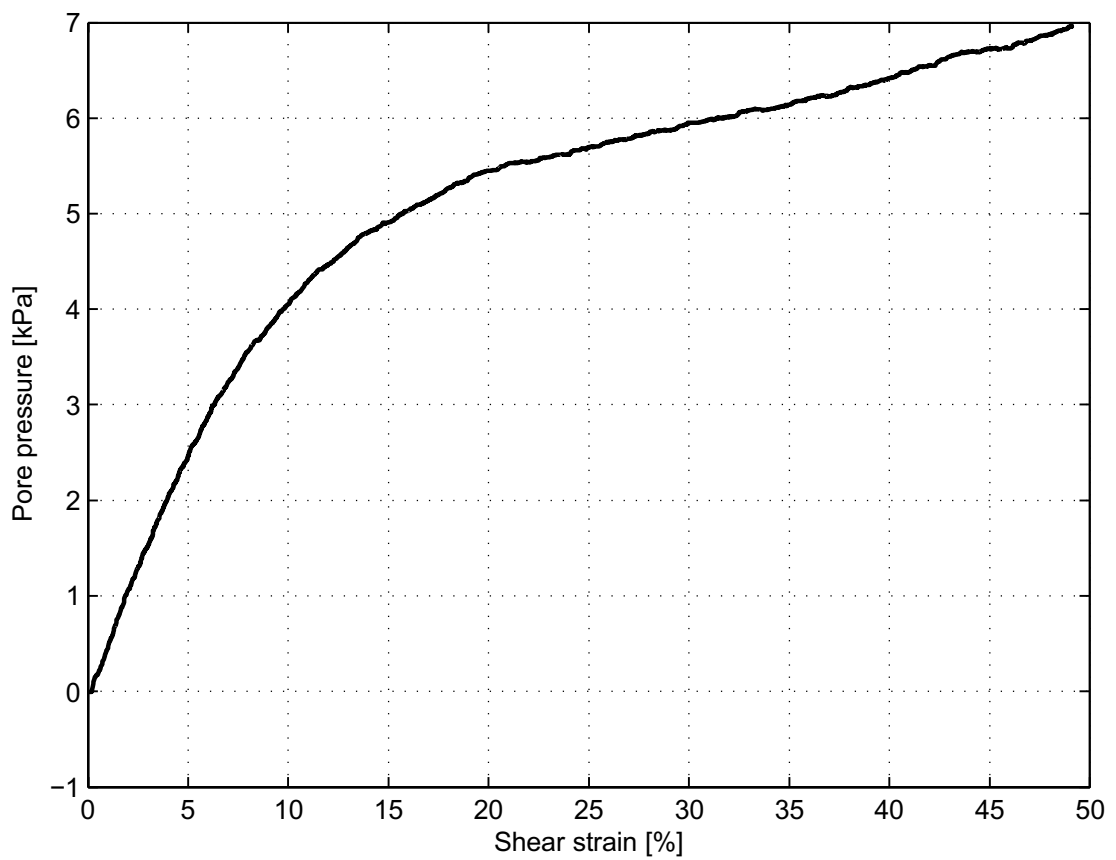
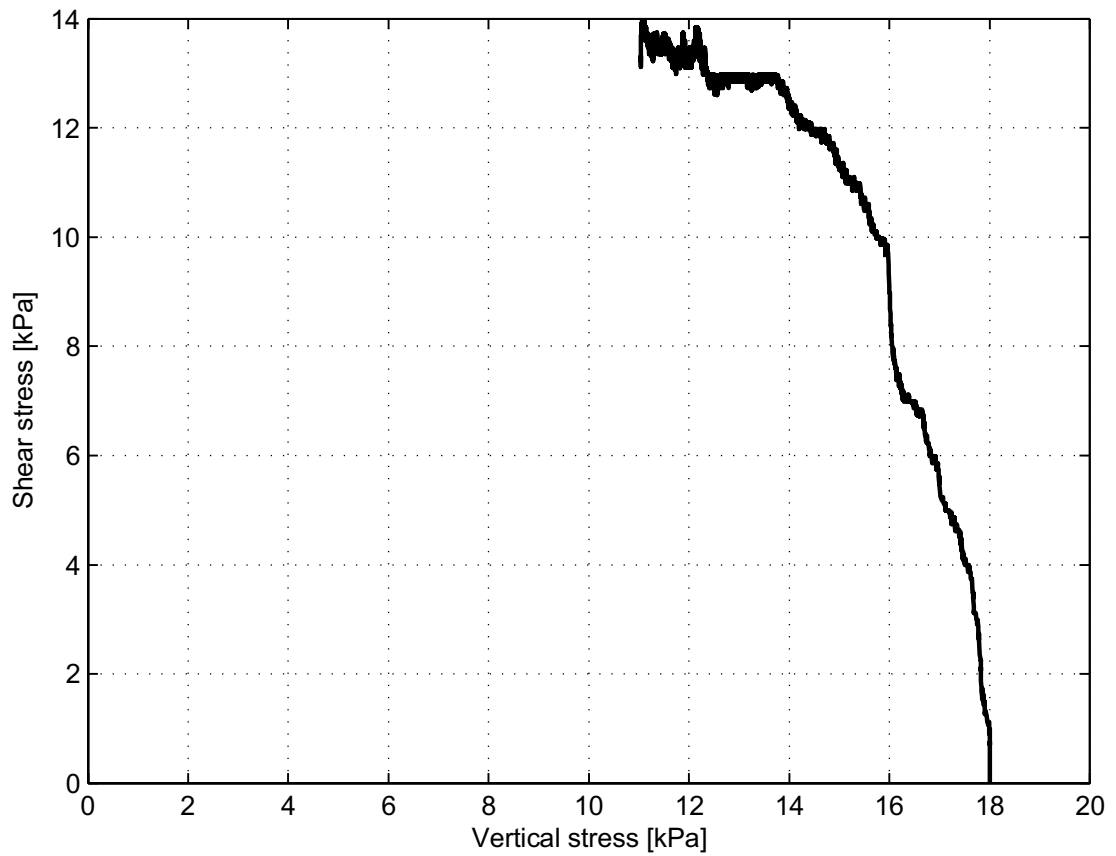
**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS108CA

page  
1

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 09:45





**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 108CA

project  
1203768.18

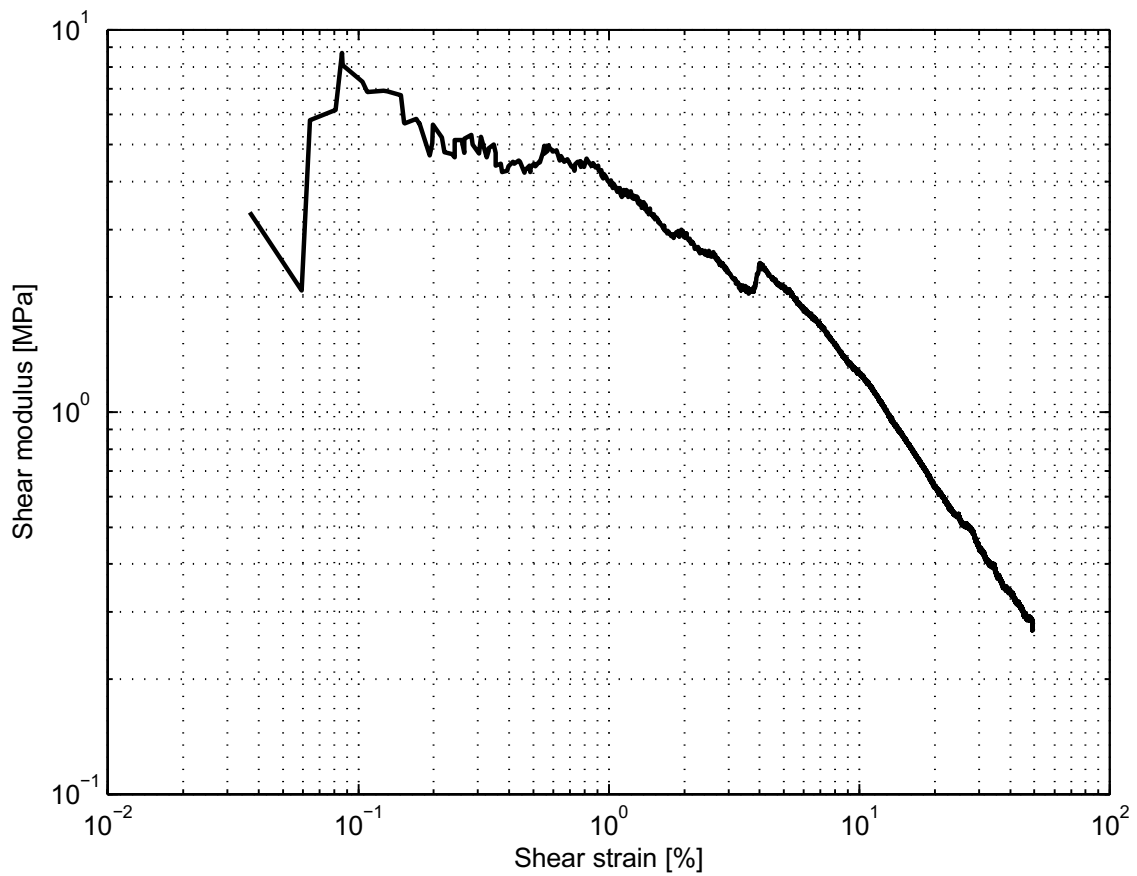
seen  
-

Direct Simple Shear Test

appendix  
DSS108CA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 09:45



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 108CA

project  
1203768.18

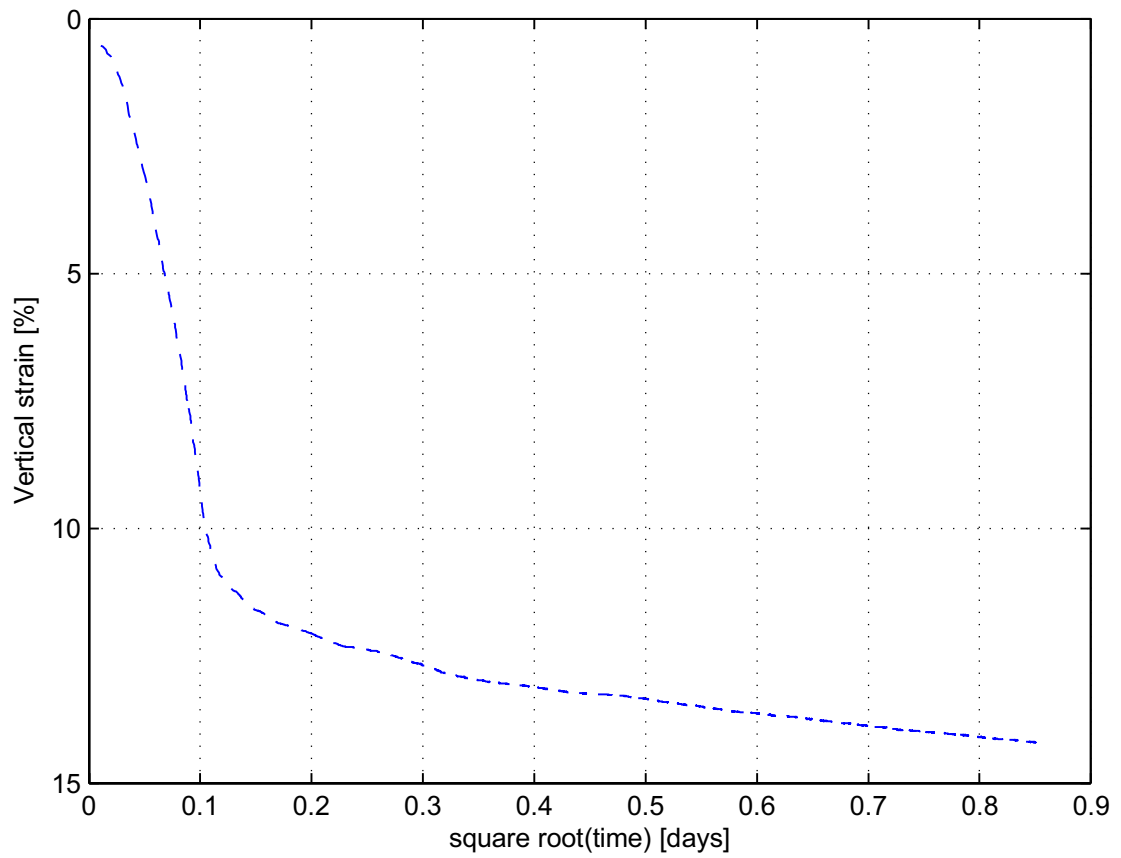
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS108CA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 09:45



**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  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 108CA

project  
1203768.18

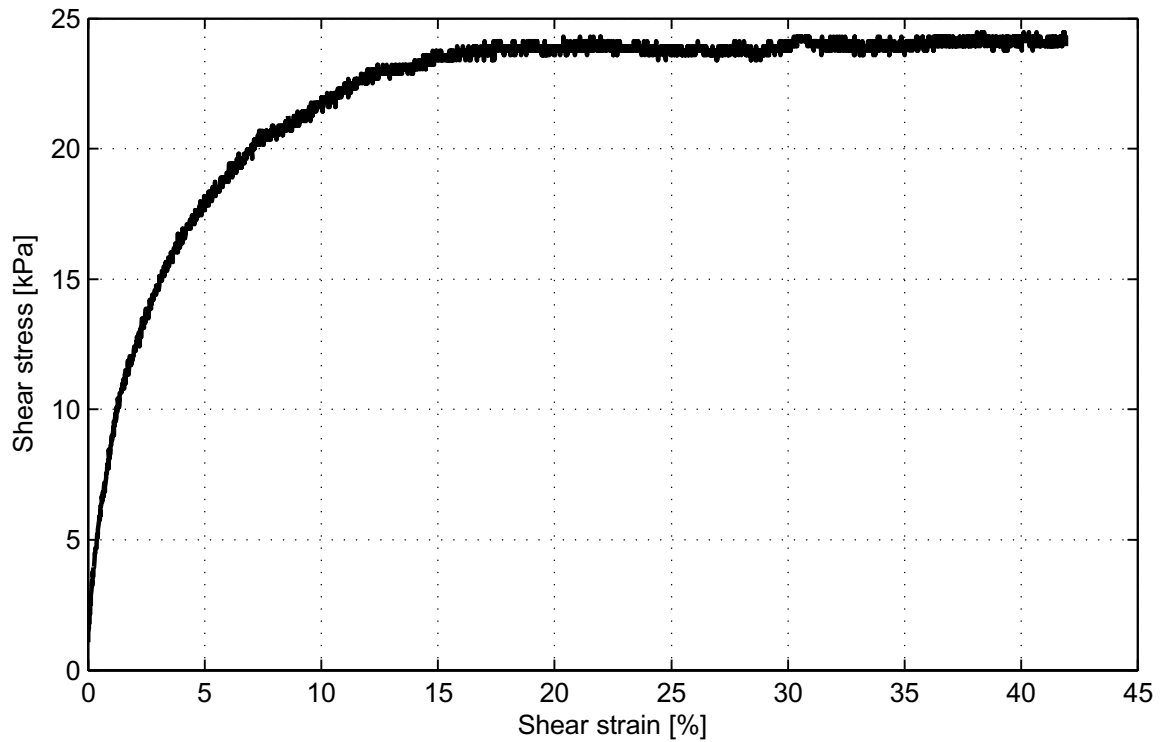
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS108CA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 09:45



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, mineraalarm
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	DSS-B
Sample identification	119AA
Bor. No.	B02_Dijk23_DP64_Binnenberm
Depth from NAP [m]	-2.65
Depth to NAP [m]	-2.70
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	1.08
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	265.0
$w$ (final) [%]	251.8
Strain rate [%/h]	8.0
Initial vertical stress [kPa]	35.0
Mean vertical stress [kPa]	32.5
Maximum shear stress [kPa]	24.5
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	30.6

**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 119AA

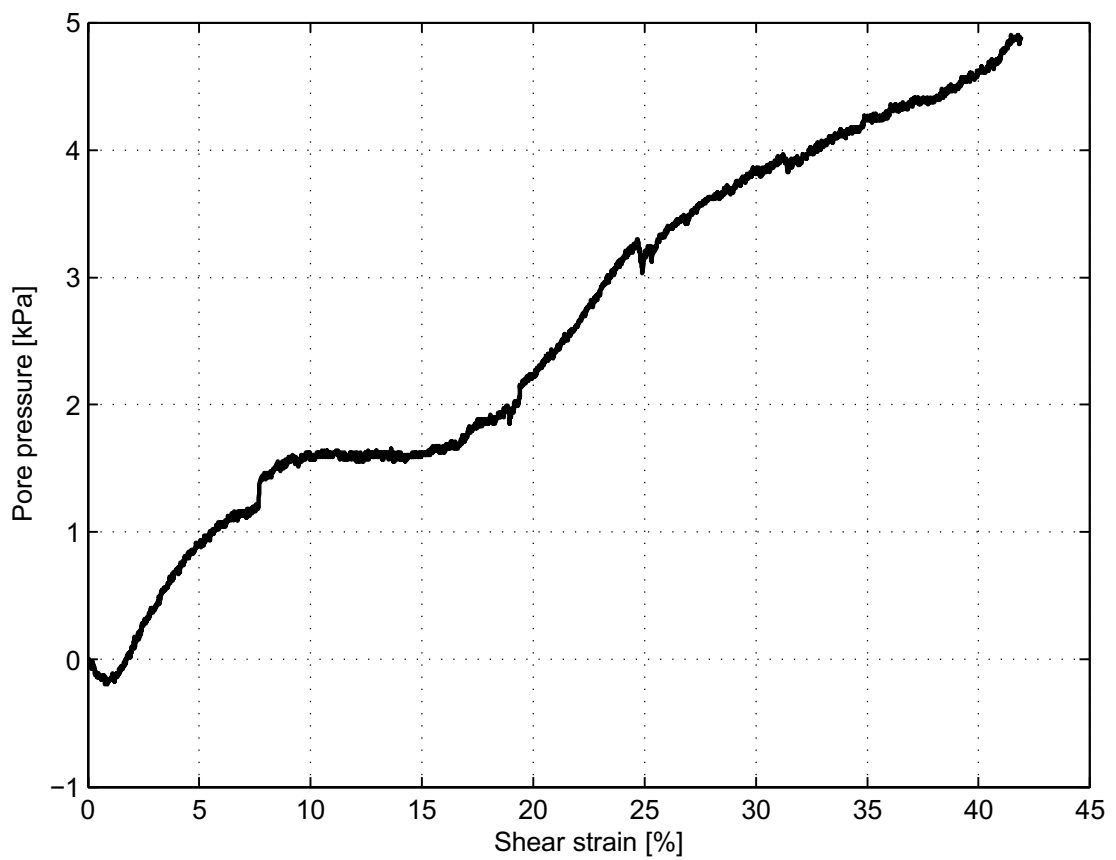
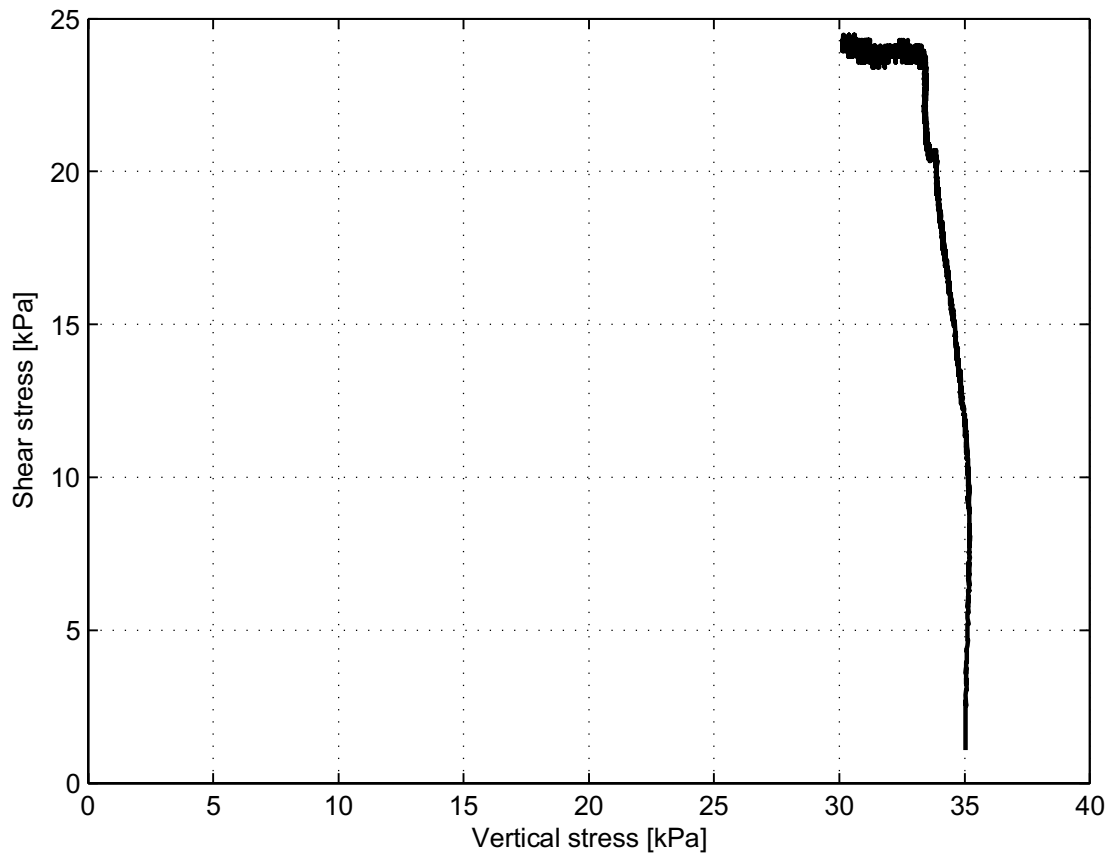
project  
1203768.18

seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS119AA

page  
1



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 119AA

project  
1203768.18

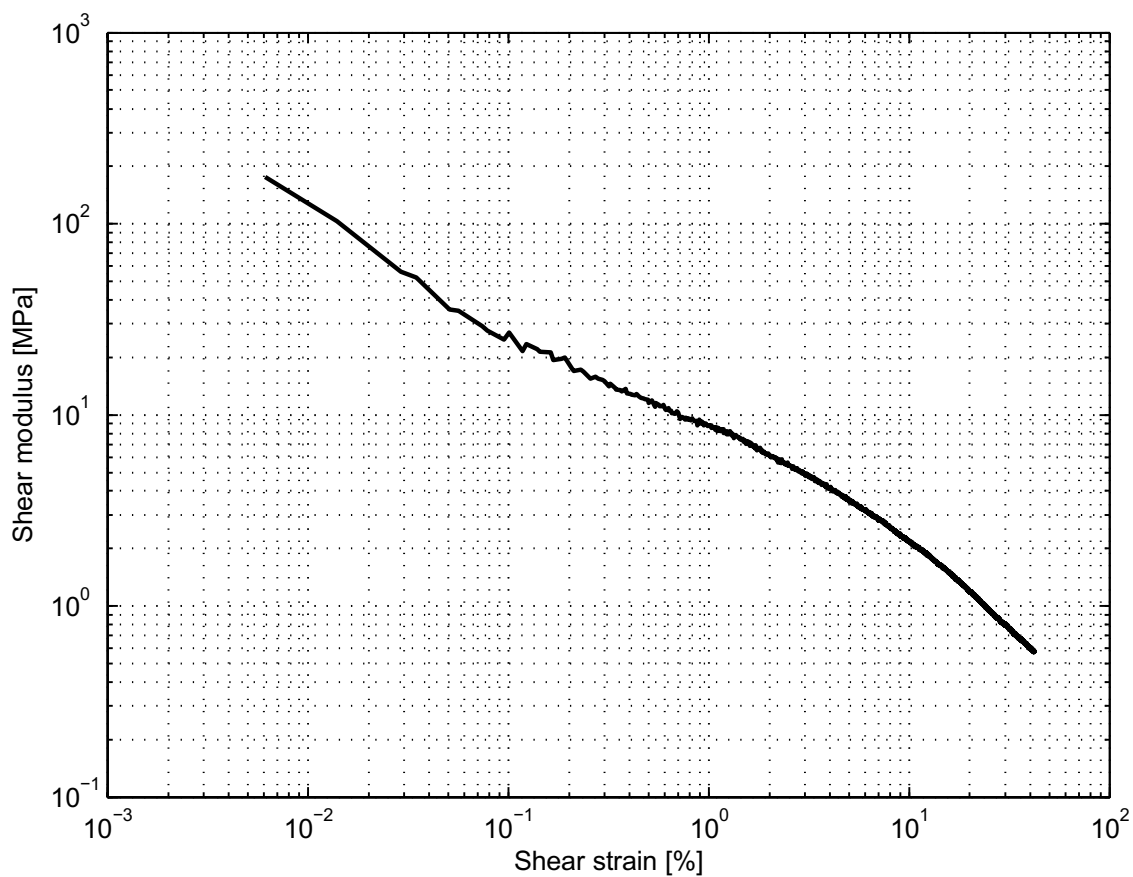
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS119AA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-07 14:51



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 119AA

project  
1203768.18

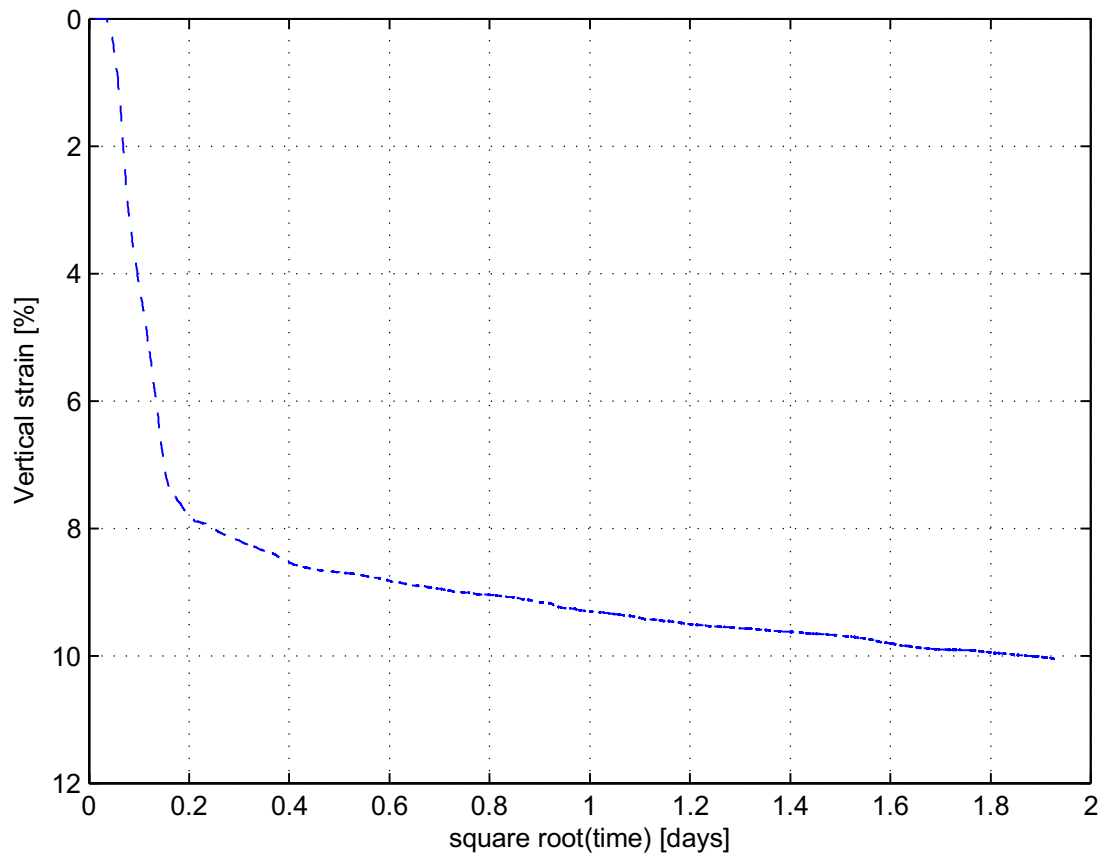
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS119AA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-07 14:51



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 119AA

project  
1203768.18

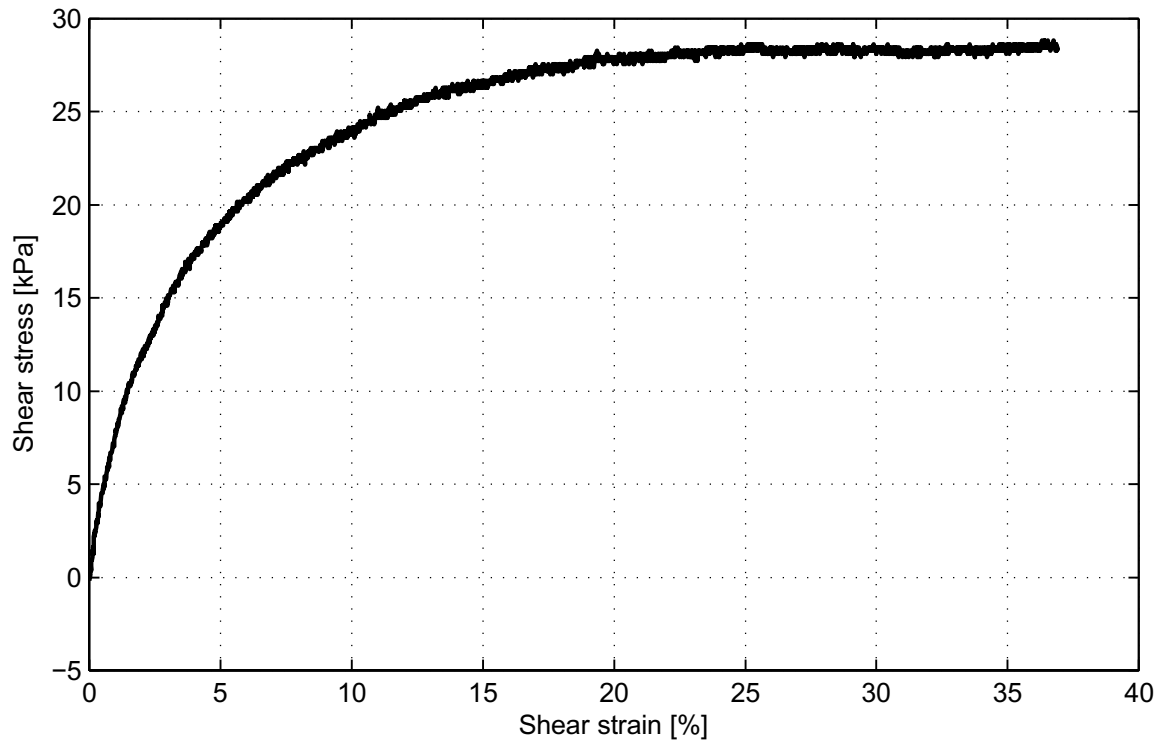
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS119AA

page  
4

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-07 14:51



**Description of soil sample:**

Sample description (NEN5104)	Veen, mineraalarm
Temperature [°C]	20.5
Pressure area [cm <sup>2</sup> ]	31.17
Test type	constant height
Apparaatcode	DSS-B
Sample identification	121AA
Bor. No.	B02_Dijk23_DP64_Binnenberm
Depth from NAP [m]	-4.67
Depth to NAP [m]	-4.72
Height [mm]	20
$\rho$ (initial) [g/cm <sup>3</sup> ]	0.96
$S_r$ [%]	-
$e$ (initial) [-]	-
$e$ (final) [-]	-
$w$ (initial) [%]	533.2
$w$ (final) [%]	648.8
Strain rate [%/h]	7.9
Initial vertical stress [kPa]	40.0
Mean vertical stress [kPa]	32.5
Maximum shear stress [kPa]	28.8
$\sigma'_{v:\sigma'_{hmax}}$ [kPa]	29.4

**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 121AA

project  
1203768.18

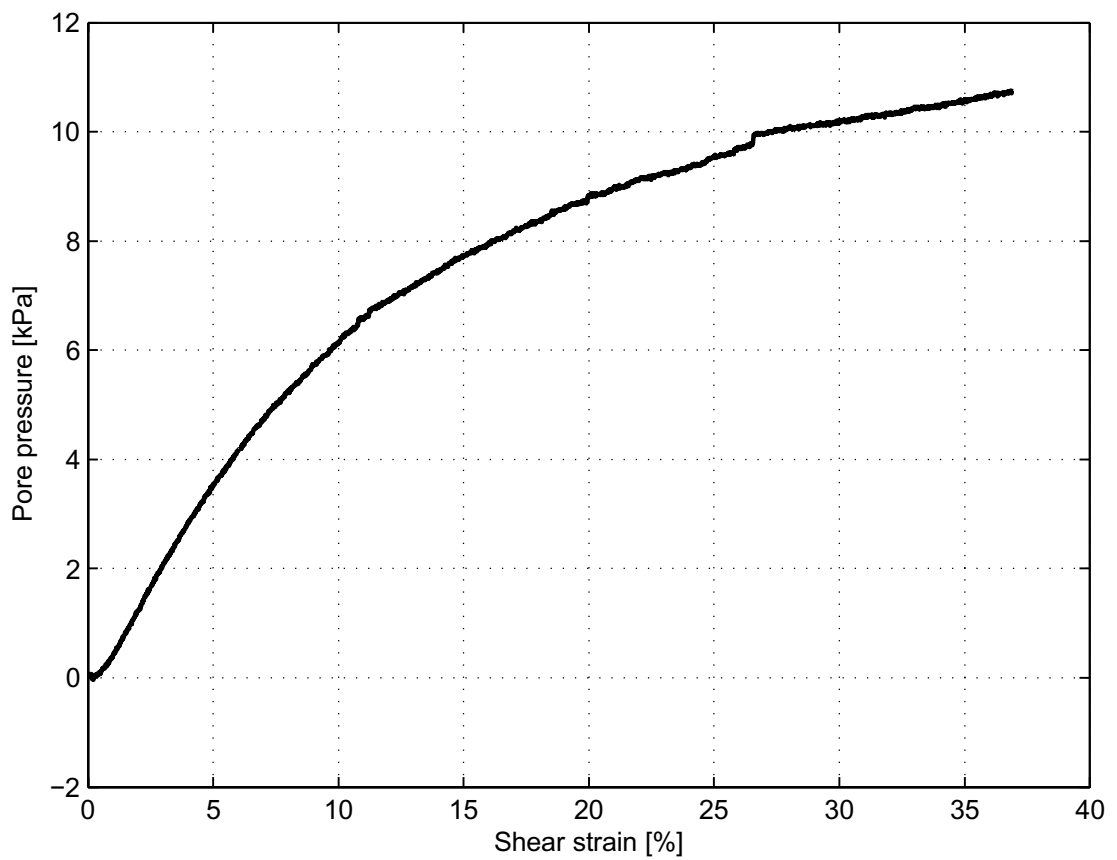
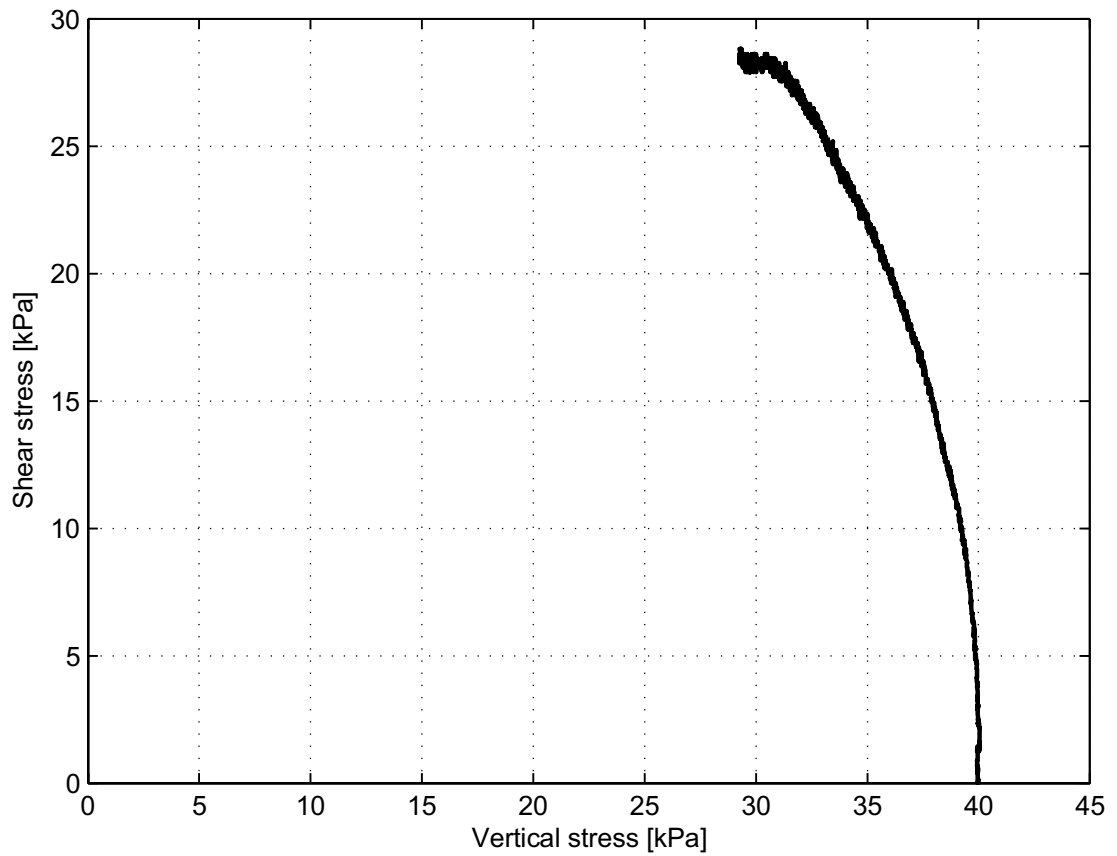
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS121AA

page  
1





**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 121AA

project  
1203768.18

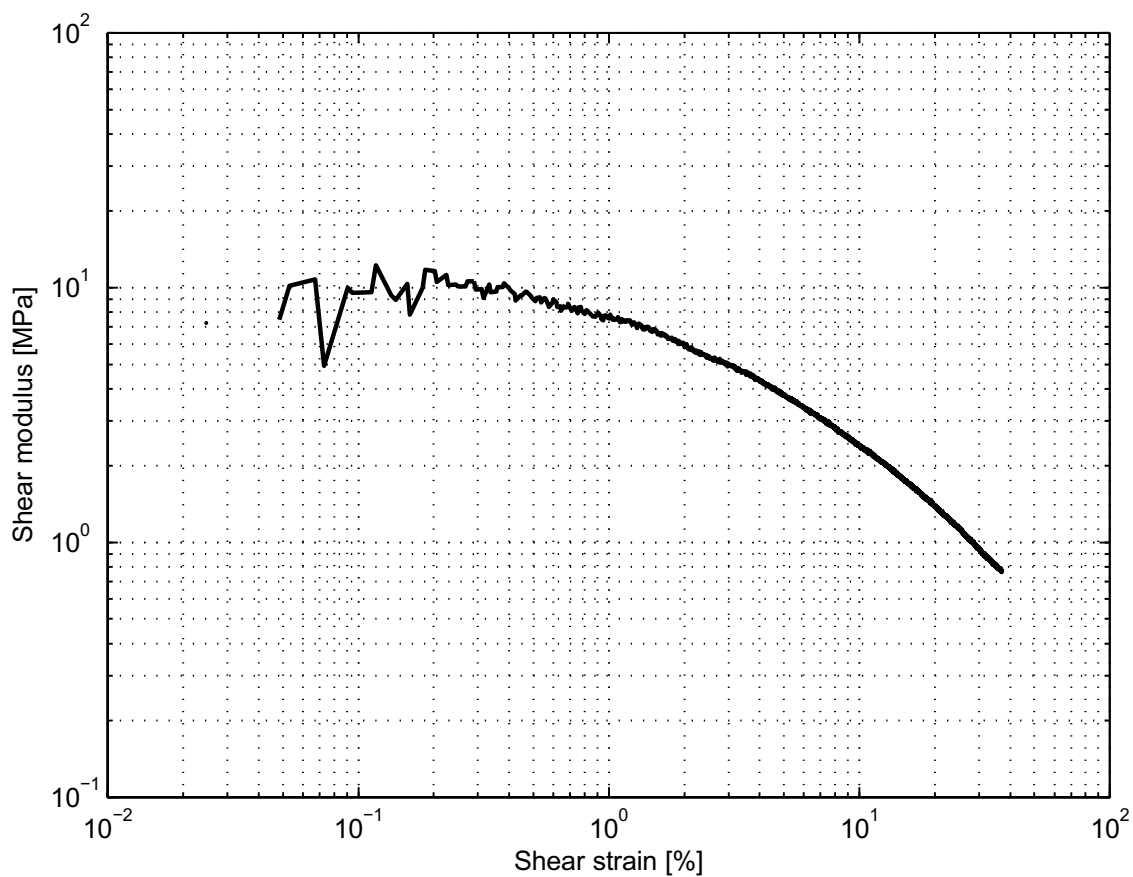
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS121AA

page  
2

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 16:18



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 121AA

project  
1203768.18

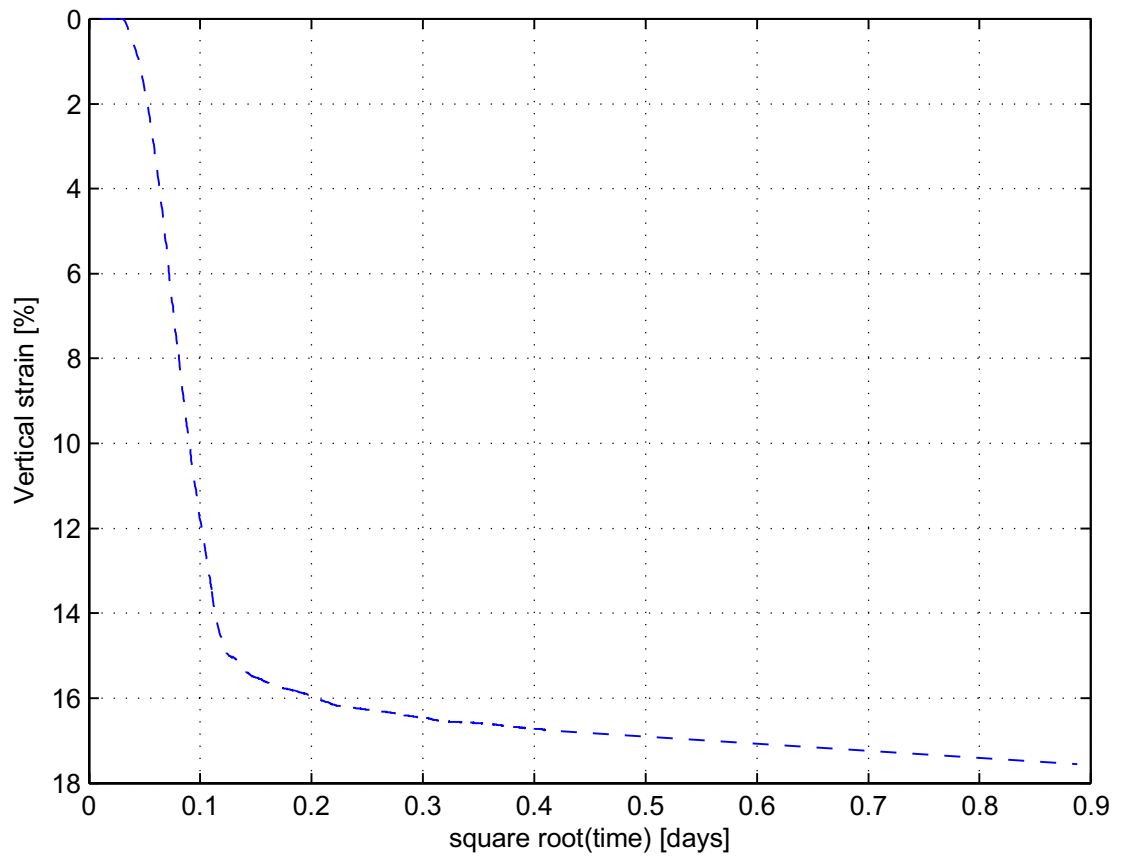
seen  
-

**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS121AA

page  
3

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 16:18



**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  
2012-05-04

signed  
Kop

Doorvertaling Markermeerdijk  
Direct Simple Shear test on sample 121AA

project  
1203768.18

seen  
-

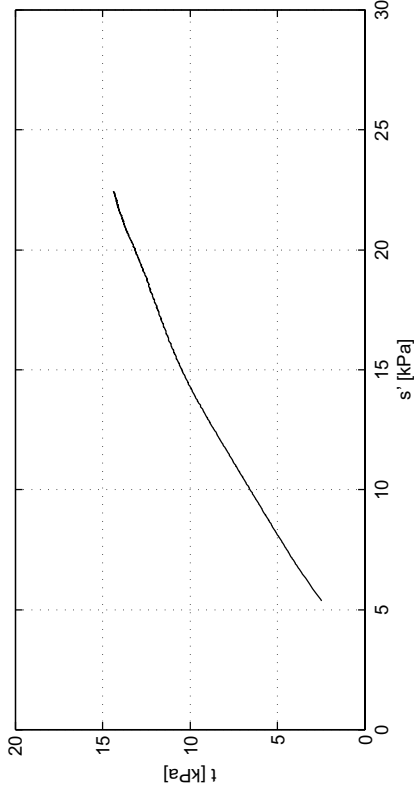
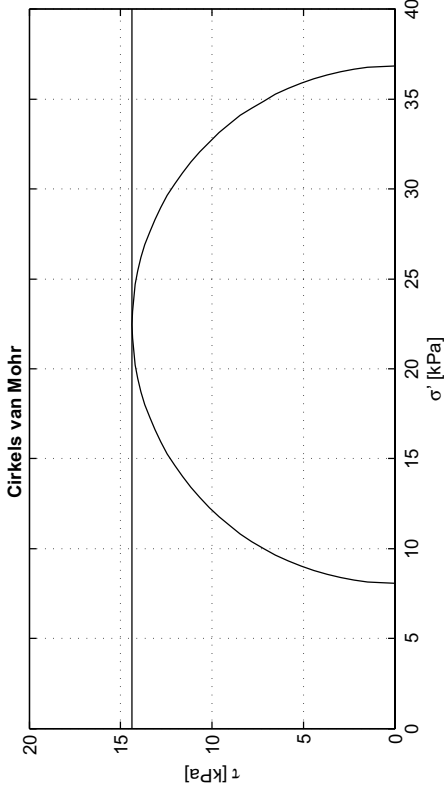
**Direct Simple Shear Test**

appendix  
DSS121AA

page  
4

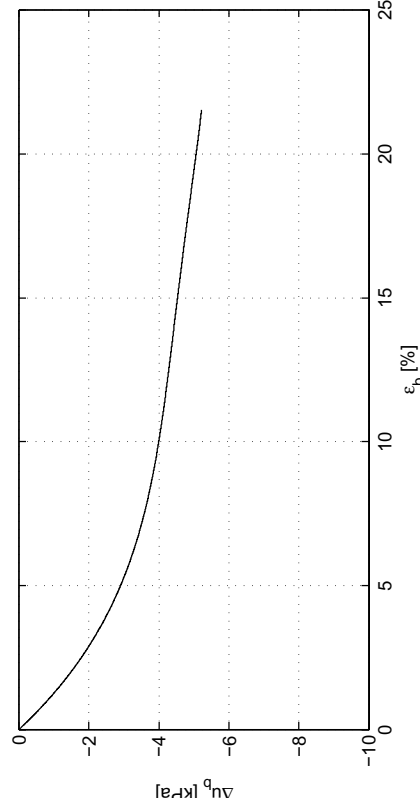
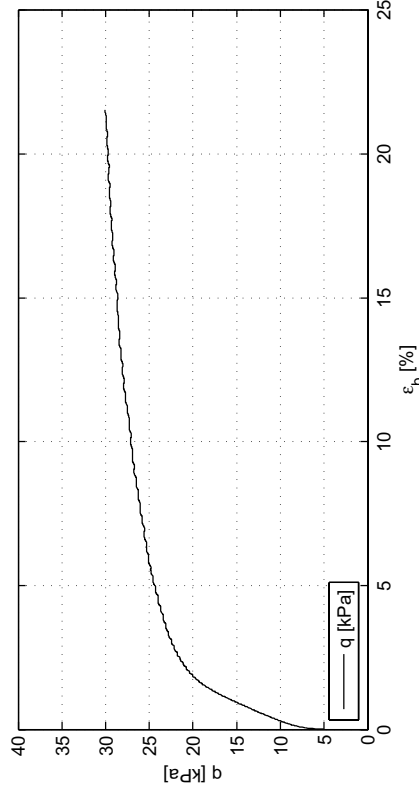
\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 16:18

## **F Triaxiaalproeven**



Ongedraineerde schuifsterkte	
$c_u$ [kPa]	14.4
Nummer Boring	B01_Dijk23_...
Monsternaam	2B
Diepte NAP [m]	2.64/2.47
NEN5104 code	Ks1
$m_1$ [g]	744.0
$D_1$ [mm]	64.0
$h_1$ [mm]	145.2
$w_1$ [%]	62.0
$\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1583
$\rho_{gr}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	983
Grondsoort	klei

Voor beproeving



- Testprocedure:
- 1) Anisotropisch geconsolideerd op 5 kPa
  - 2) Deviatorspanning naar 5 kPa ( $K_0 = 0.5$ )
  - 3)  $\sigma_v$  naar 10 kPa bij gelijkblijvende radiale rek
  - 4) Afschuiven op 1.0% per uur
    - De t100 bepaling is niet betrouwbaar door de geleidelijke toename van de consolidatiespanning
    - Monster vertoont na afschuiving meerdere breukvlakken

**Deltares**  
 Doorvertaling Markermeerdijk  
 CU\_2B

Postbus 177, 2600 MH Delft  
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200  
 Telefax 015 261 0821

Homepage:  
[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)

get.	Kop	datum	2012-06-21
gez.	-	project	1203768.18
peg.	1	bijlage	TX2B

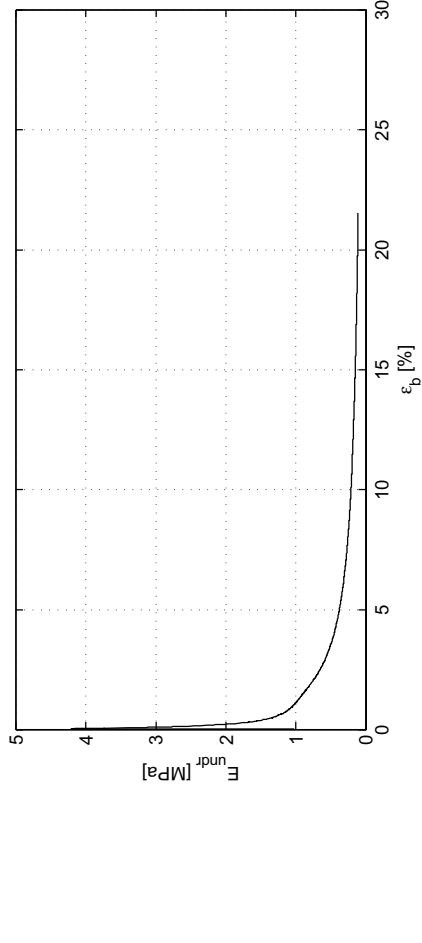
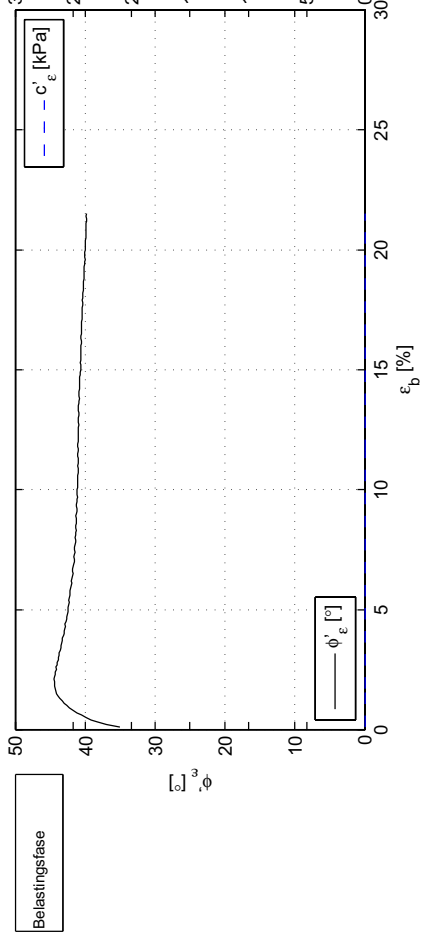
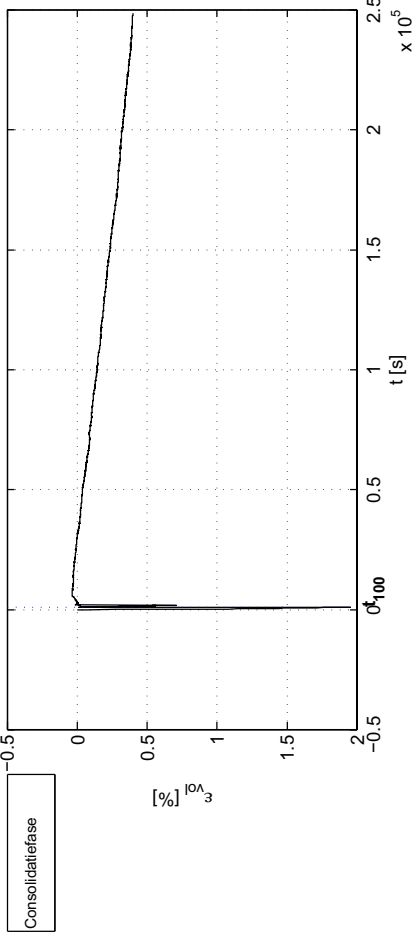
**CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117**

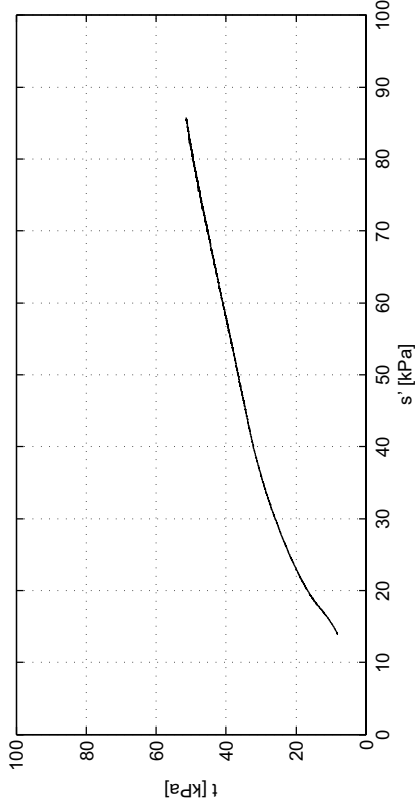
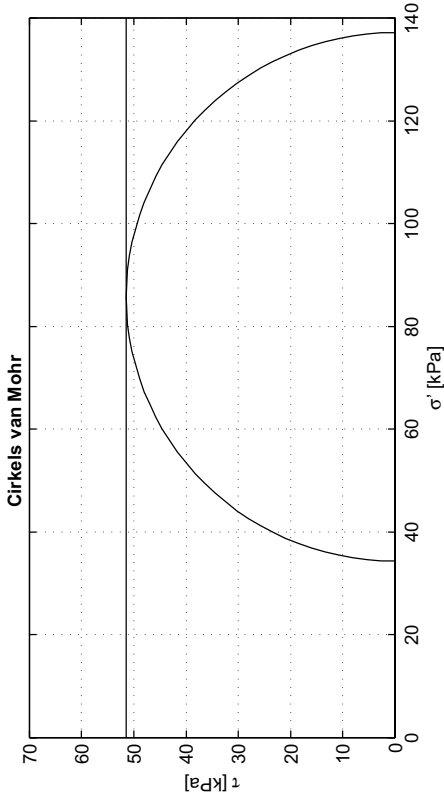
\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-06-21 11:06

Belastingfase	1	2	3
$B_0$ [-]	0.98		
$B_1$ [-]	0.98		
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	9.9		
$t_{100}$ [min]	13		
$h_c$ [mm]	144.33		
$V_c$ [cm <sup>3</sup> ]	465.26		
$\rho_{nc}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1595		
$w_c$ [%]	64.7		
$u_{br}$ [kPa]	300		
$P$ [-]	2.20		
$v_{max}$ [%/h]	10.2		
$v$ [%/h]	1.00		
Corr method	Deltares		
Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
$q_u$ [kPa]	28.8		
$f_{undr}$ [kPa]	14.4		
$\epsilon_{b,50}$ [%]	1.23		
$E_{50}$ [MPa]	1.0		
$w_d$ [%]	64.7		
Bezwijkfiguur			

Verticale rek [%]	$s'$ [kPa]	$t$ [kPa]	$c_u$ [kPa]
2.0	14.5	10.1	10.1
5.0	17.7	12.0	12.0
10.0	20.0	13.2	13.2
$t_{max}$ [kPa]	22.5	14.4	14.4

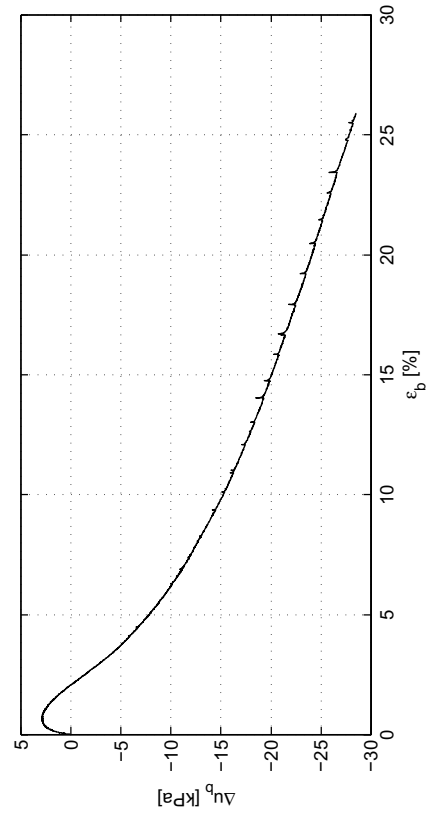
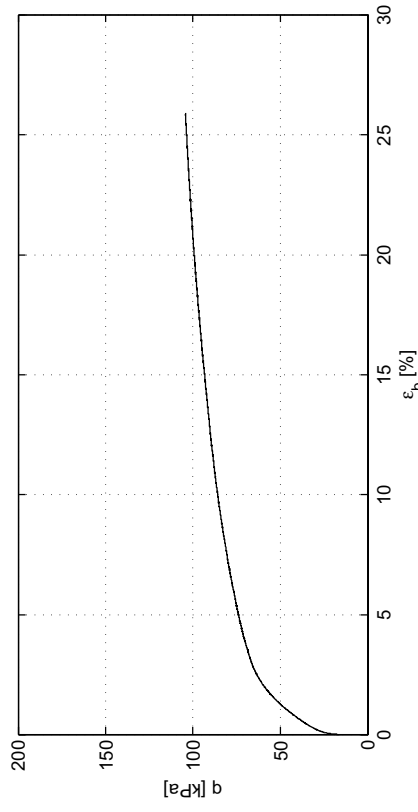
<b>Deltares</b>		Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 088 335 7200	Homepage:	datum	get.
Doorvertaling Markermeerdijk		Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2012-06-21	Kop
CU_2B					project	gez.
CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117					1203768.18	-
					bijlage	peg.
					TX2B	2





Ongedraineerde schuifsterkte	
$c_u$ [kPa]	51.4
Nummer Boring	B01_Dijk23_...
Monsternaam	4A
Diepte NAP [m]	0.58/0.41
NEN5104 code	Ks2
$m_l$ [g]	687.2
$D_l$ [mm]	63.4
$h_l$ [mm]	131.2
$w_l$ [%]	60.0
$\rho_l$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1659
$\rho_{gr}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1037
Grondsoort	klei

Voor beproeving



- Testprocedure:
- 1) Isotroopisch geconsolideerd op 5 kPa
  - 2) Deviatorspanning naar 5 kPa ( $K_0 = 0.5$ )
  - 3)  $\sigma_v$  naar 21 kPa bij gelijkblijvende radiale rek
  - 4) Afschuiven op 1.0% per uur
    - De t100 bepaling is niet betrouwbaar door de geleidelijke toename van de consolidatiespanning
    - Monster vertoont na afschuiving meerdere breukvlakken

Deltares	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 088 335 7200	Homepage:	datum	get.
	Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2012-05-08	Kop
Doorvertaling Markermeerdijk				project	gez.
CU_4A				1203768.18	-
CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117				bijlage	pag.
				TX4A	1

Belastingfase	1	2	3
$B_0$ [-]	0.90		
$B_1$ [-]	0.97		
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	22.2		
$t_{100}$ [min]	20		
$h_c$ [mm]	132.02		
$V_c$ [cm <sup>3</sup> ]	423.53		
$P_{nic}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1644		
$w_c$ [%]	62.2		
$u_{br}$ [kPa]	299		
$P$ [-]	2.20		
$v_{max}$ [%/h]	6.9		
$v$ [%/h]	0.99		
Corr method	Deltares		
Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
$q_u$ [kPa]	102.9		
$f_{undr}$ [kPa]	51.4		
$\varepsilon_{b,50}$ [%]	2.05		
$E_{50}$ [MPa]	2.1		
$w_d$ [%]	62.2		
Bezwijkfiguur			

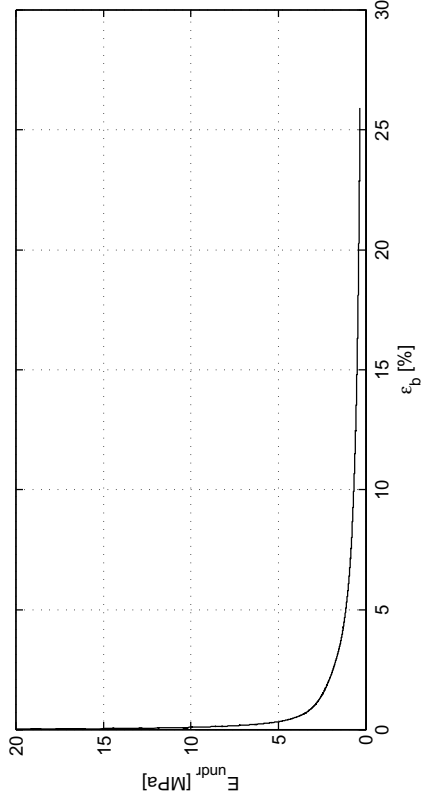
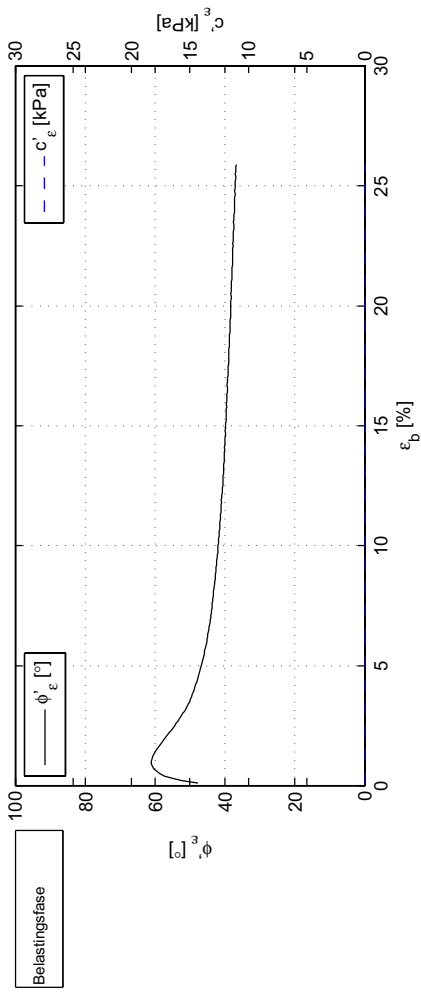
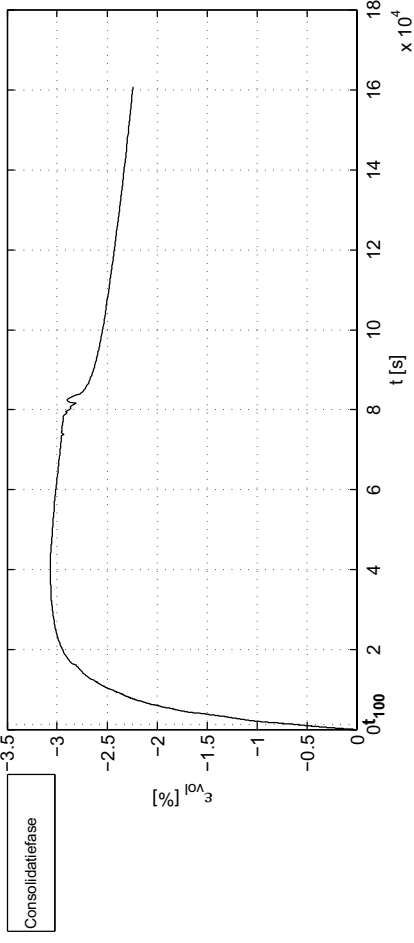
Verticale rek [%]	$s'$ [kPa]	$t$ [kPa]	$c_u$ [kPa]
2.0	35.2	29.5	29.5
5.0	50.5	36.8	36.8
10.0	63.7	42.6	42.6
$t_{max}$ [kPa]	85.7	51.4	51.4

**Deltares** Postbus 177, 2600 MH Delft  
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft  
 Telefoon 088 335 7200 Homepage: www.deltares.nl  
 Telefax 015 261 0821

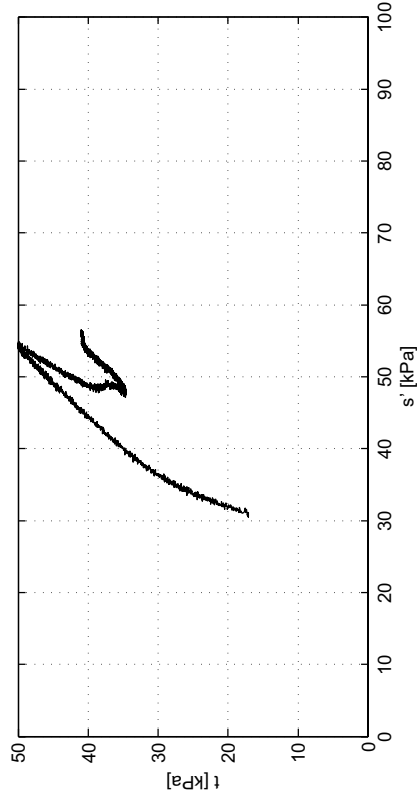
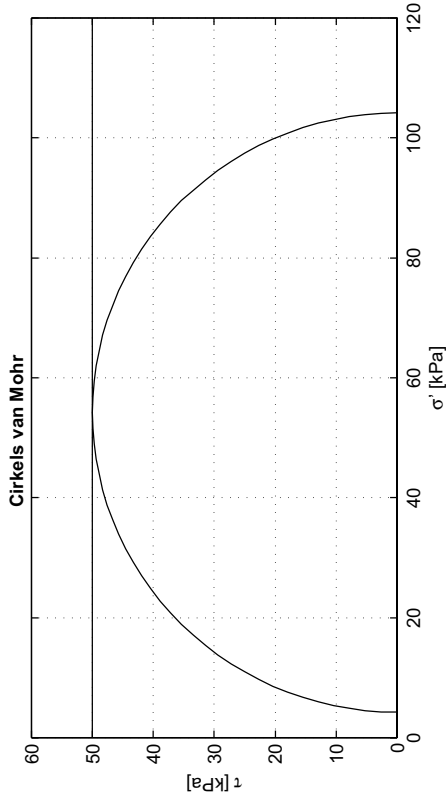
Doorvertaling Markermeerdijk  
 CU\_4A

CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117  
 \*) Vrijgegeven door Ess op 2012-05-08 14:29

get.	Kop	datum	2012-05-08
gez.	-	project	1203768.18
peg.	2	bijlage	TX4A

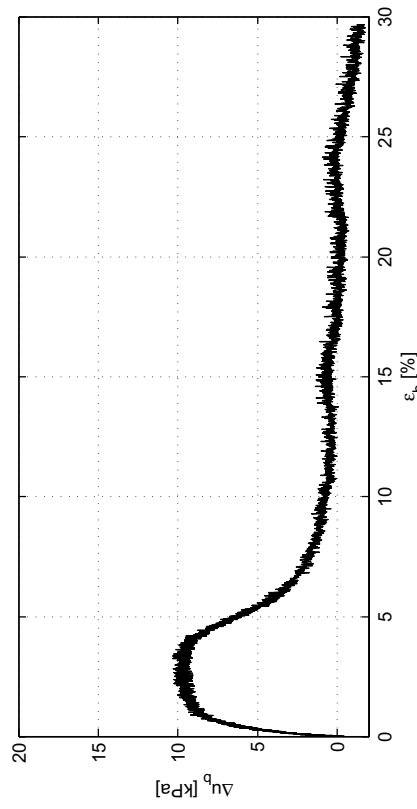
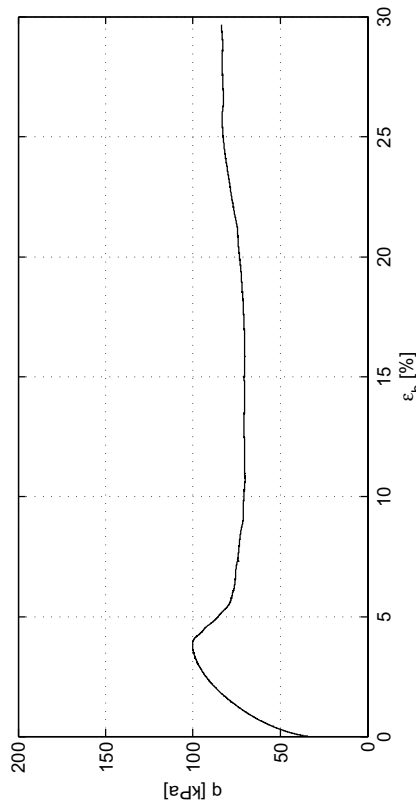






Ongedraineerde schuifsterkte	
$c_u$ [kPa]	50.0
Nummer Boring	B01_Dijk23_...
Monsternaam	9D
Diepte NAP [m]	-4.23/-4.44
NEN5104 code	Ks1h3
$m_l$ [g]	581.8
$D_l$ [mm]	64.8
$h_l$ [mm]	138.9
$w_l$ [%]	144.3
$\rho_l$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1270
$\rho_{gr}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	520
Grondsoort	klei

Voor beproeving



Testprocedure:  
 1) Isotropisch geconsolideerd op 5 kPa  
 2) Deviatorspanning naar 5 kPa ( $K_0 = 0.5$ )  
 3)  $\sigma_v$  naar 48 kPa bij gelijkblijvende radiale rek  
 4) Afschuiven op 1.0% per uur  
 - De t100 bepaling is niet betrouwbaar door de geleidelijke toename van de consolidatiespanning

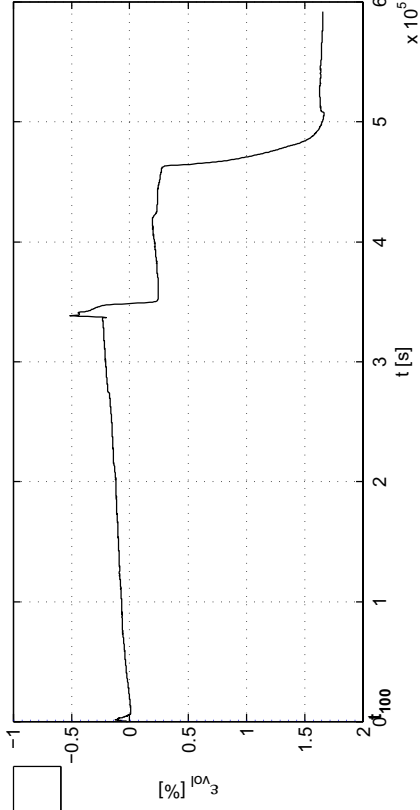
<b>Deltares</b> Doorvertaling Markermeerdijk CU_9D	Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefoon 086 335 7200 Telefax 015 261 0821	Homepage: www.deltares.nl	datum 2012-05-08	get. Kop
	CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117			project 1203768.18	gez. -
				bijlage TX9D	pag. 1

Belastingfase	1	2	3
$B_0$ [-]	0.96		
$B_1$ [-]	0.98		
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	47.9		
$t_{100}$ [min]	14		
$h_c$ [mm]	135.91		
$V_c$ [cm <sup>3</sup> ]	450.45		
$P_{n,c}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1275		
$w_c$ [%]	141.1		
$u_{br}$ [kPa]	298		
$P$ [-]	2.20		
$v_{max}$ [%/h]	10.0		
$v$ [%/h]	1.01		
Corr method	Deltares		
Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
$q_u$ [kPa]	99.9		
$f_{undr}$ [kPa]	50.0		
$\varepsilon_{b,50}$ [%]	0.90		
$E_{50}$ [MPa]	3.7		
$w_d$ [%]	141.1		
Bezwijkfiguur			

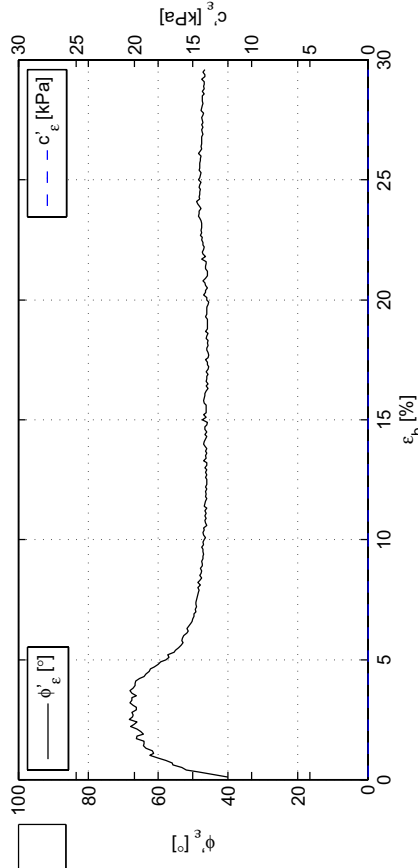
Verticale rek [%]	$s'$ [kPa]	$t$ [kPa]	$c_u$ [kPa]
2.0	47.8	43.3	43.3
5.0	50.3	42.6	42.6
10.0	48.1	35.1	35.1
$t_{max}$ [kPa]	54.2	50.0	50.0

<b>Deltares</b>	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 088 335 7200	Homepage:	datum	get.
	Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2012-05-08	Kop
Doorvertaling Markermeerdijk	project				gez.
CU_9D	1203768.18				-
CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117	bijlage				peg.
	TX9D				2

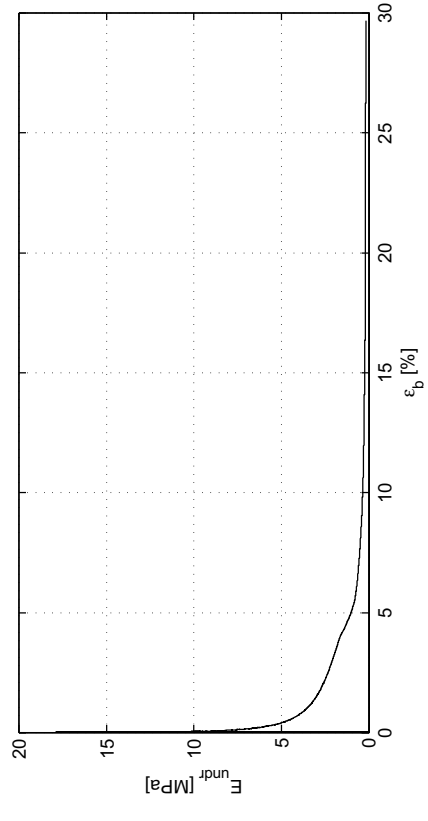
Consolidatiefase



Belastingfase



$E_{undr}$  [MPa]

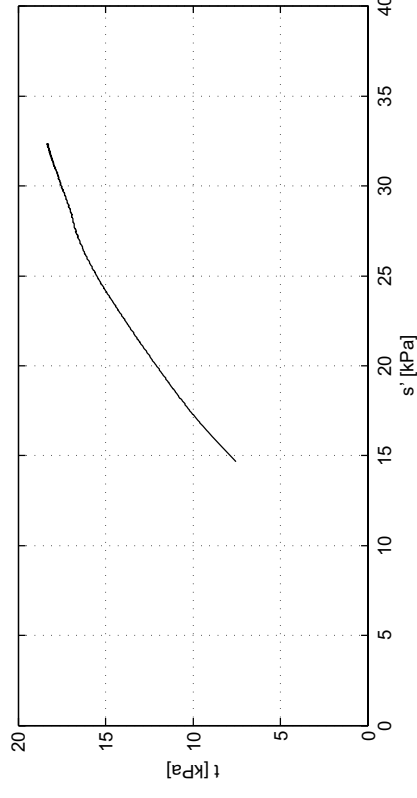
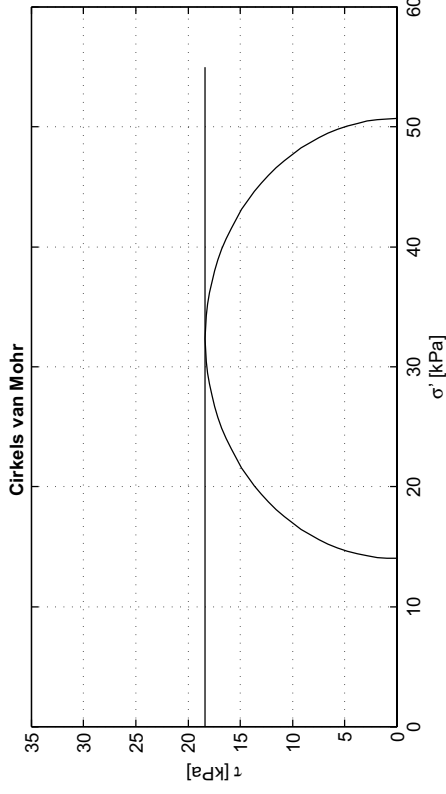


Verzadigingsfase

Consolidatiefase

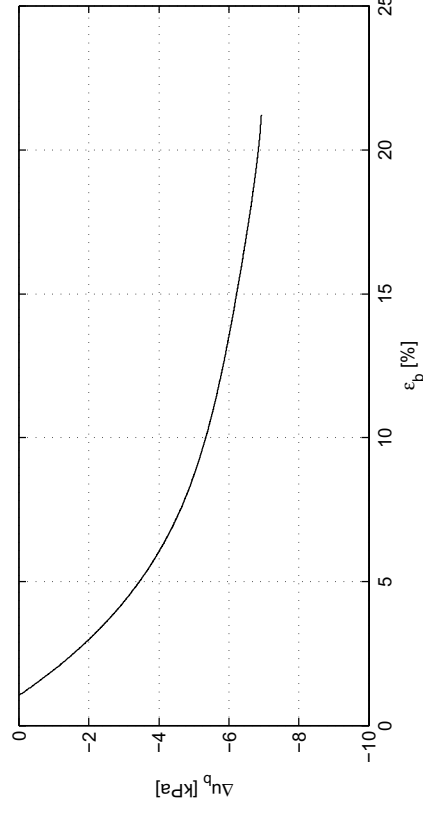
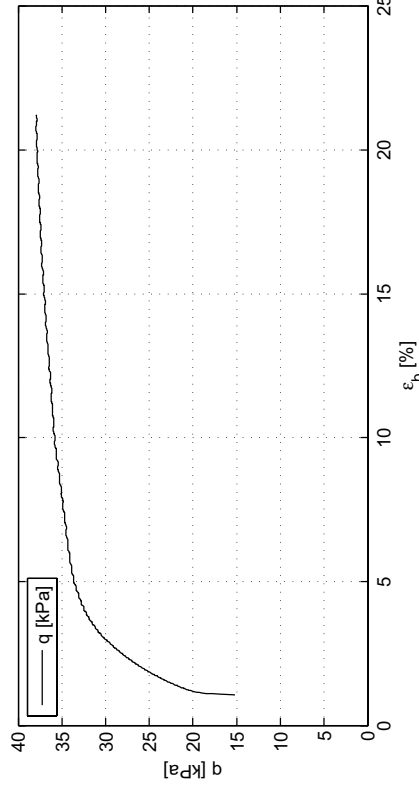
Belastingfase

Na beproeving



Ongedraineerde schuifsterkte	
$c_u$ [kPa]	18.4
Nummer Boring	B01_Dijk20_...
Monsternaam	13B
Diepte NAP [m]	1.88/1.71
NEN5104 code	Ks2
$m_l$ [g]	743.6
$D_l$ [mm]	63.3
$h_l$ [mm]	150.4
$w_l$ [%]	37.3
$\rho_l$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1571
$\rho_{gr}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1144
Grondsoort	klei

Voor beproeving



- Testprocedure:
- 1) Anisotropisch geconsolideerd op 5 kPa
  - 2) Deviatorspanning naar 5 kPa ( $K_0 = 0.5$ )
  - 3)  $\sigma_v$  naar 15 kPa bij gelijkblijvende radiale rek
  - 4) Afschuiven op 1.0% per uur
- De t100 bepaling is niet betrouwbaar door de geleidelijke toename van de consolidatiespanning

<b>Deltares</b> Doorvertaling Markermeerdijk	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 088 335 7200	Homepage:	datum	get.
	Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2012-06-21	Kop
CU_13B				project	gez.
CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117				1203768.18	-
				bijlage	peg.
				TX13B	1

Belastingfase	1	2	3
$B_0$ [-]	0.85		
$B_1$ [-]	0.99		
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	22.6		
$t_{100}$ [min]	35		
$h_c$ [mm]	148.54		
$V_c$ [cm <sup>3</sup> ]	475.49		
$\rho_{nc}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1568		
$w_c$ [%]	43.9		
$u_{br}$ [kPa]	297		
$P$ [-]	2.20		
$v_{max}$ [%/h]	3.9		
$v$ [%/h]	1.01		
Corr method	Deltares		
Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
$q_u$ [kPa]	36.7		
$f_{undr}$ [kPa]	18.4		
$\varepsilon_{b,50}$ [%]	2.06		
$E_{50}$ [MPa]	1.1		
$w_d$ [%]	43.9		
Bezwijkfiguur			

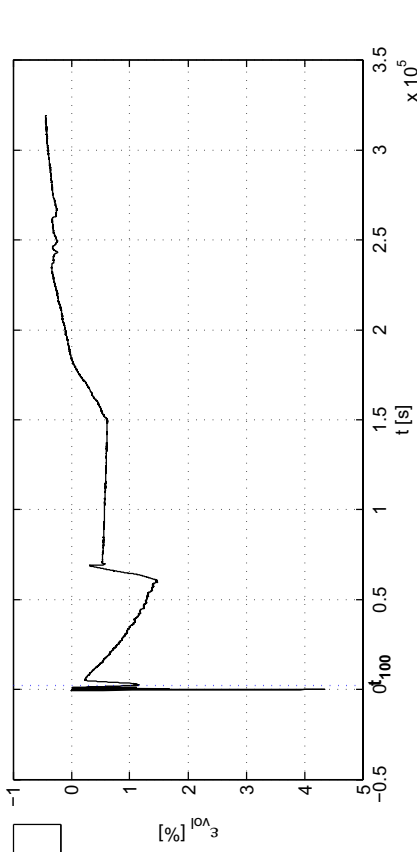
Verzadigingsfase

Consolidatiefase

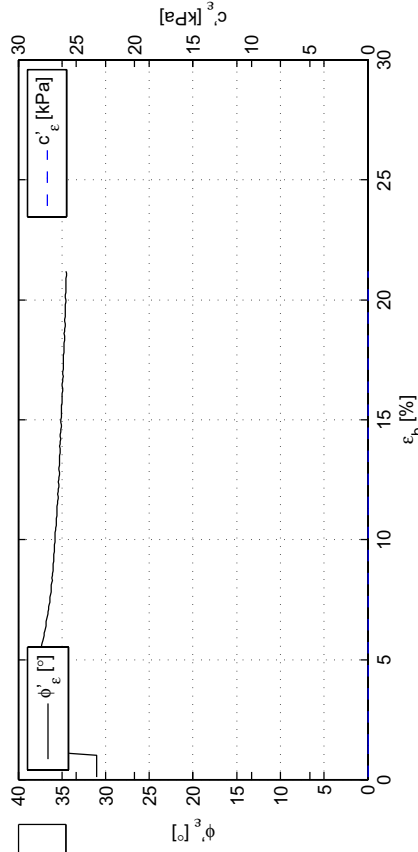
Belastingfase

Na beproeving

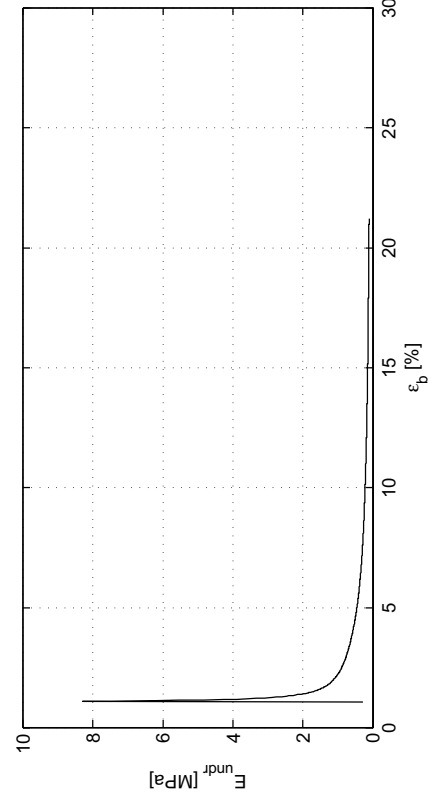
Consolidatiefase



Belastingfase



Verticale rek [%]	$s'$ [kPa]	$t$ [kPa]	$c_u$ [kPa]
2.0	21.0	12.8	12.8
5.0	27.1	16.6	16.6
10.0	29.9	17.5	17.5
$t_{max}$ [kPa]	32.4	18.4	18.4

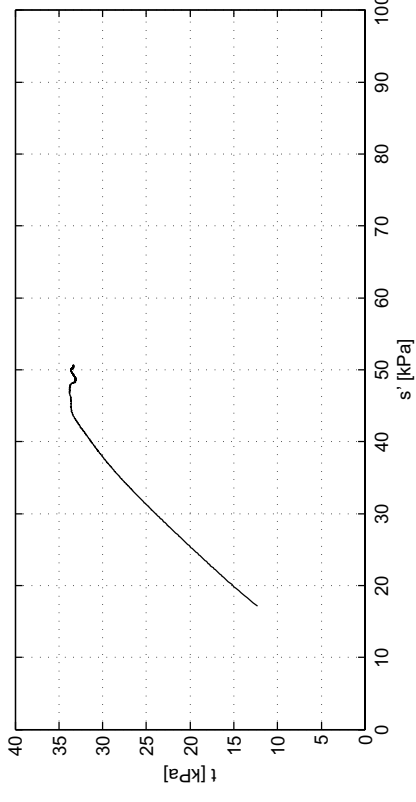
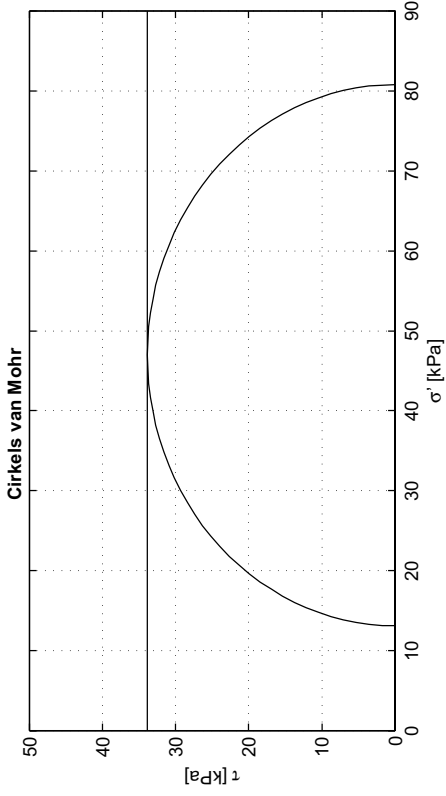


**Deltares**  
 Postbus 177, 2600 MH Delft  
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft  
 Telefoon 086 335 7200  
 Telefax 015 261 0821  
 Homepage:  
 www.deltares.nl

Doorvertaling Markermeerdijk  
 CU\_13B  
 CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117

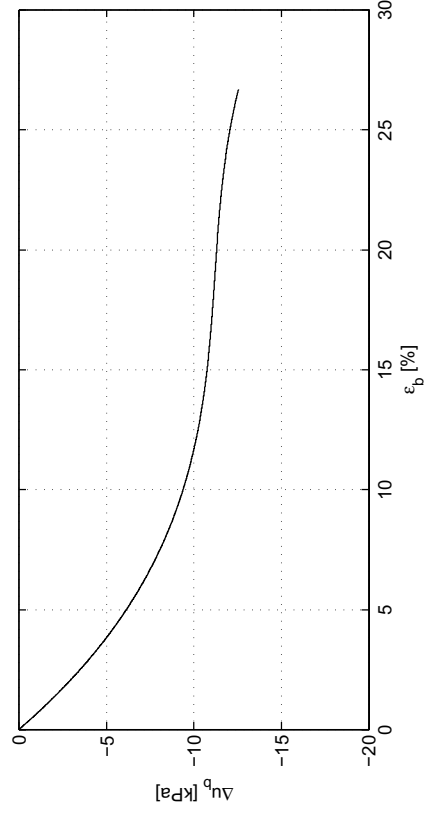
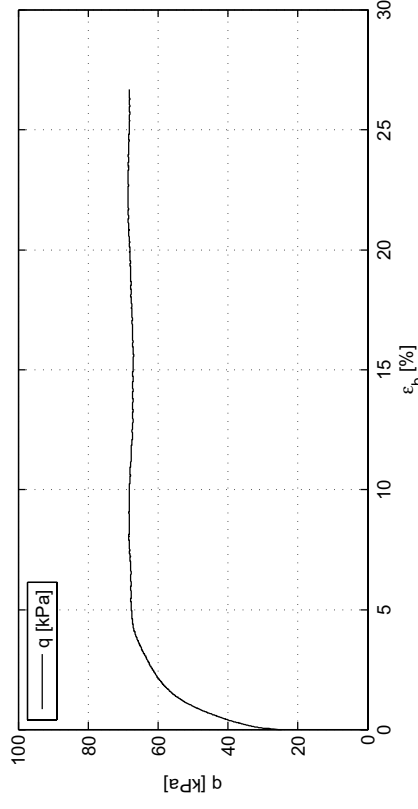
get.	Kop	datum	2012-06-21
gez.	-	project	1203768.18
peg.	2	bijlage	TX13B

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-06-21 11:16



Ongedraineerde schuifsterkte	
$c_u$ [kPa]	33.9
Nummer Boring	B01_Dijk20_...
Monsternaam	15BA
Diepte NAP [m]	0.46/0.31
NEN5104 code	Ks1h2
$m_1$ [g]	689.3
$D_1$ [mm]	64.5
$h_1$ [mm]	149.8
$w_1$ [%]	80.9
$\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1408
$\rho_{gr}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	778
Grondsoort	klei

Voor beproeving



- Testprocedure:
- 1) Isotroop geconsolideerd op 5 kPa
  - 2) Deviatorspanning naar 5 kPa ( $K_0 = 0.5$ )
  - 3)  $\sigma_v$  naar 31 kPa bij gelijkblijvende radiale rek
  - 4) Afschuiven op 1.0% per uur
    - De t100 bepaling is niet betrouwbaar door de geleidelijke toename van de consolidatiespanning
    - Monster vertoont na afschuiving meerdere breukvlakken

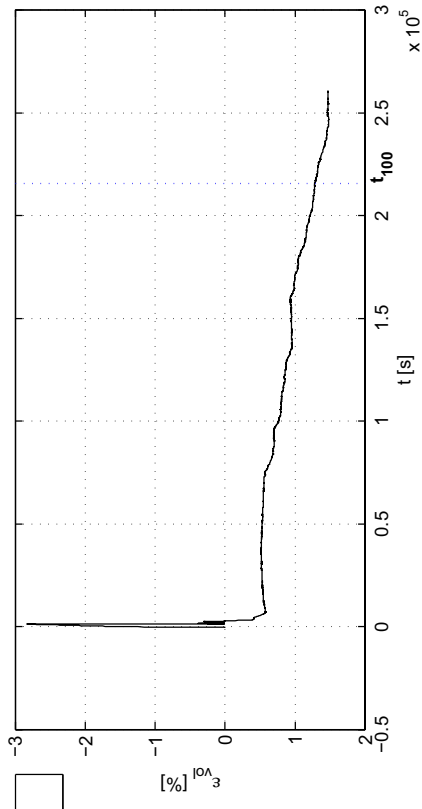
<b>Deltares</b> Doorvertaling Markermeerdijk CU_15BA <b>CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117</b>	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 088 335 7200	Homepage: www.deltares.nl	datum	get.
	Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821		2012-06-20	Kop
				project	gez.
				1203768.18	-
				bijlage	peg.
				TX15BA	1

Belastingfase	1	2	3
$B_0$ [-]	0.88		
$B_1$ [-]	0.99		
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	34.5		
$t_{100}$ [min]	3594		
$h_c$ [mm]	148.15		
$V_c$ [cm <sup>3</sup> ]	482.43		
$P_{n,c}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1414		
$w_c$ [%]	83.4		
$u_{br}$ [kPa]	300		
$P$ [-]	2.20		
$v_{max}$ [%/h]	0.0		
$v$ [%/h]	1.02		
Corr method	Deltares		
Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
$q_u$ [kPa]	67.7		
$f_{undr}$ [kPa]	33.9		
$\varepsilon_{b,50}$ [%]	0.73		
$E_{50}$ [MPa]	3.0		
$w_d$ [%]	83.4		
Bezwijkfiguur			

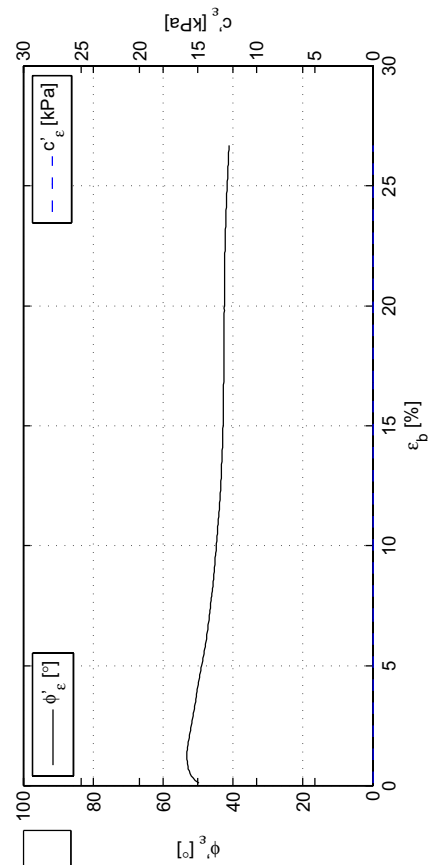
Verticale rek [%]	$s'$ [kPa]	$t$ [kPa]	$c_u$ [kPa]
2.0	37.2	29.6	29.6
5.0	44.6	33.6	33.6
10.0	47.9	33.8	33.8
$t_{max}$ [kPa]	47.0	33.9	33.9

<b>Deltares</b>	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 086 335 7200	Homepage:	datum	get.
	Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2012-06-20	Kop
Doorvertaling Markerneerdijk			project	1203768.18	gez.
CU_15BA			bijlage	TX15BA	peg.
<b>CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117</b>					2

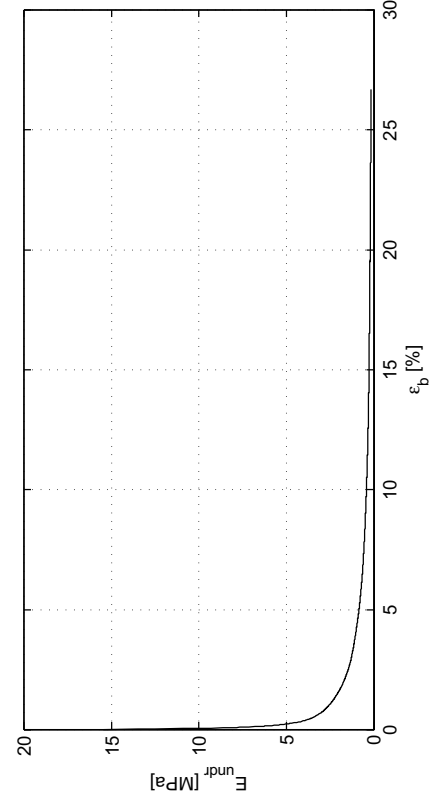
Consolidatiefase

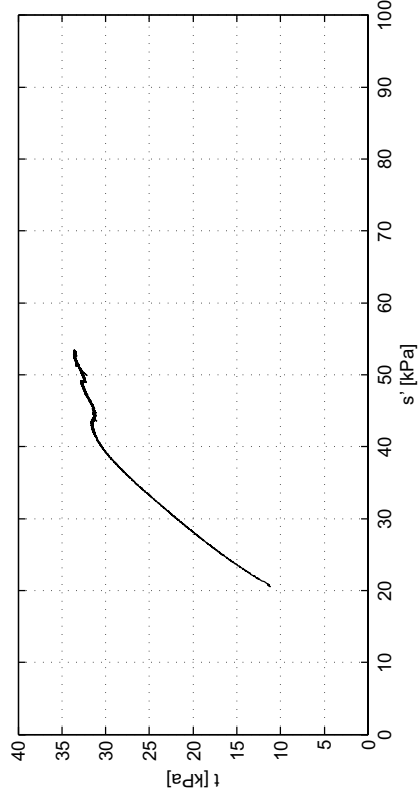
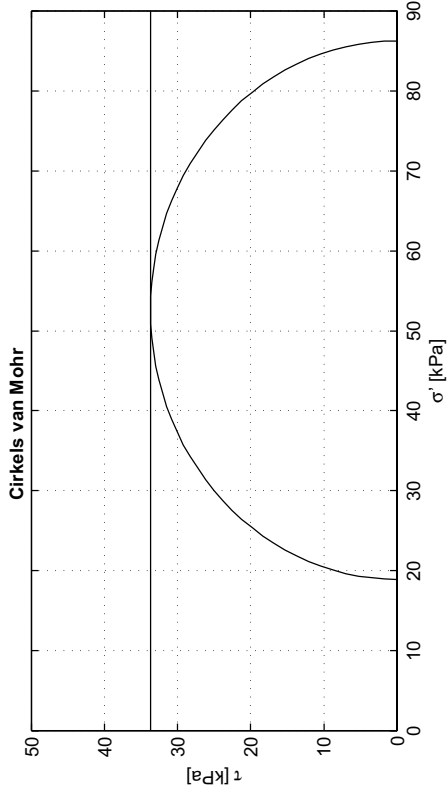


Belastingfase



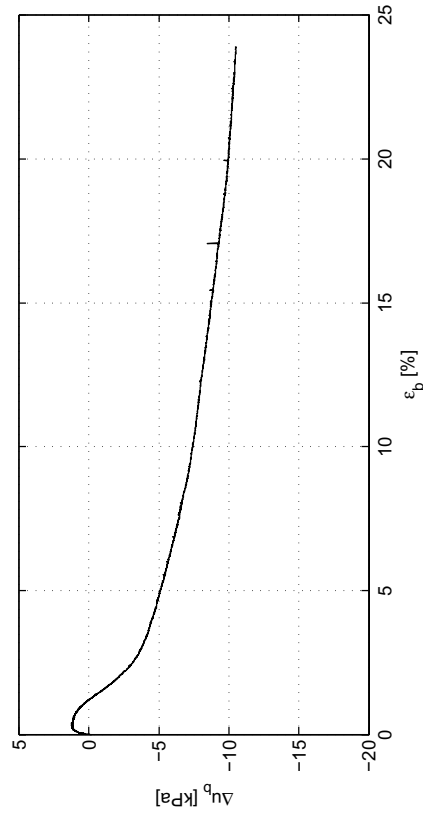
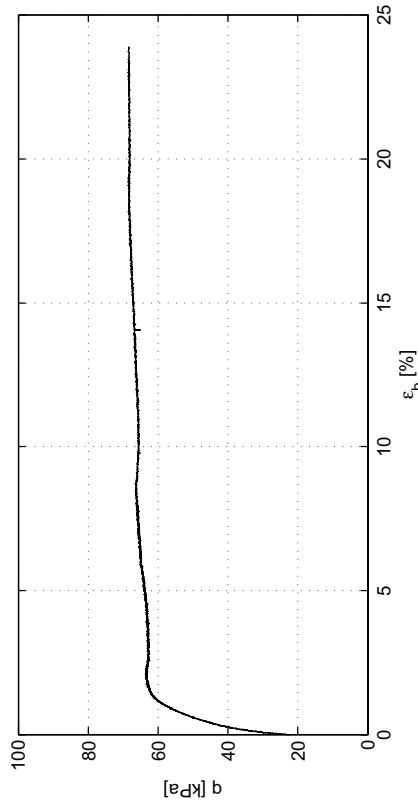
Belastingfase





Ongedraineerde schuifsterkte	
$c_u$ [kPa]	33.7
Nummer Boring	B01_Dijk20_...
Monsternaam	15DB
Diepte NAP [m]	0.02/-0.14
NEN5104 code	Ks1h2
$m_1$ [g]	625.1
$D_1$ [mm]	64.9
$h_1$ [mm]	144.4
$w_1$ [%]	122.8
$\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1308
$\rho_{gr}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	587
Grondsoort	klei

Voor beproeving



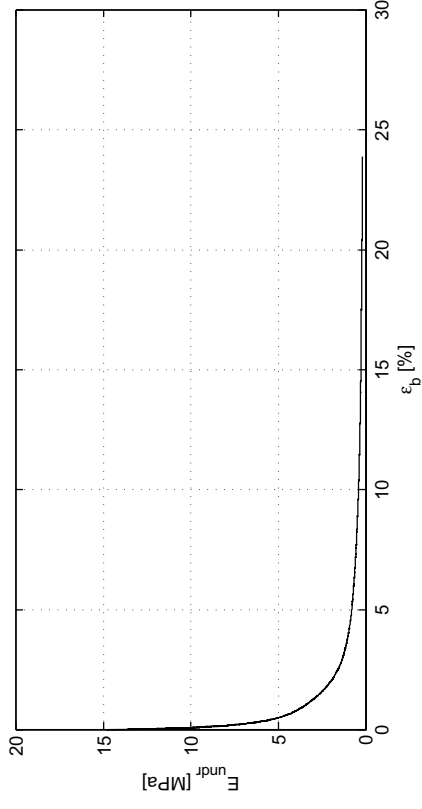
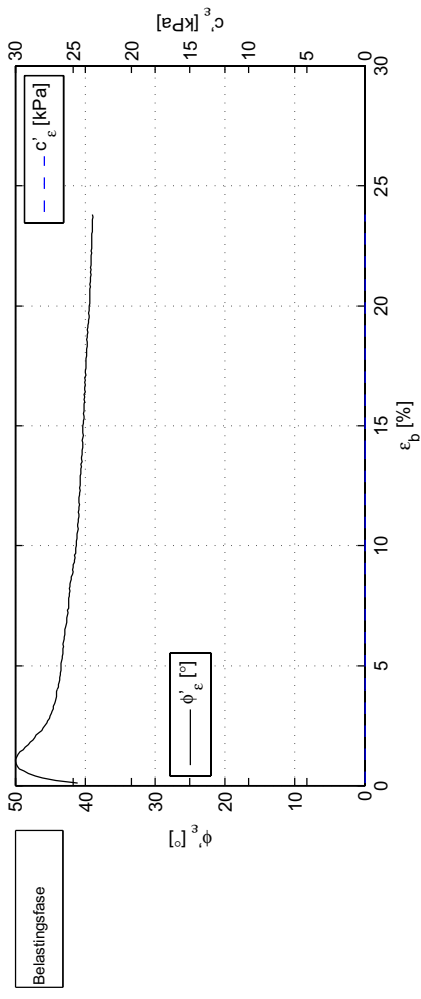
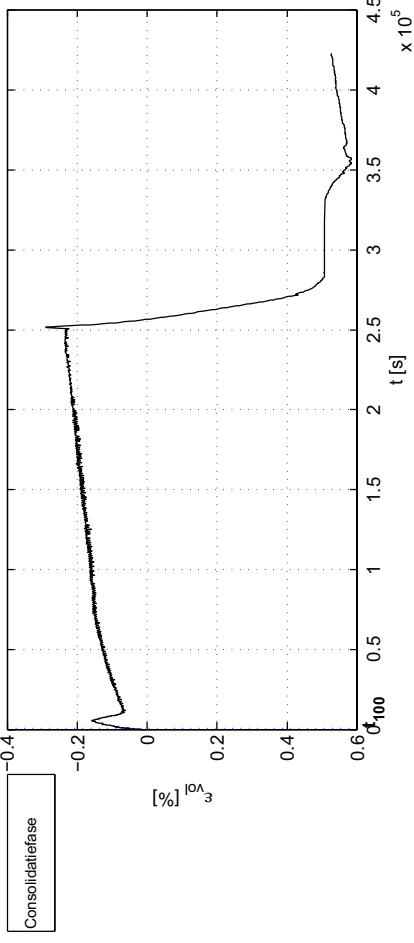
- Testprocedure:
- 1) Anisotropisch geconsolideerd op 5 kPa
  - 2) Deviatorspanning naar 5 kPa ( $K_0 = 0.5$ )
  - 3)  $\sigma_v$  naar 33 kPa bij gelijkblijvende radiale rek
  - 4) Afschuiven op 1.0% per uur
    - De t100 bepaling is niet betrouwbaar door de geleidelijke toename van de consolidatiespanning
    - Monster vertoont na afschuiving meerdere breukvlakken

<b>Deltares</b> Doorvertaling Markermeerdijk CU_15DB <b>CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117</b>	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 088 335 7200	Homepage: www.deltares.nl	datum	get.
	Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821		2012-05-08	Kop
				project	gez.
				1203768.18	-
				bijlage	peg.
				TX15DB	1

Belastingfase	1	2	3
$B_0$ [-]	0.97		
$B_1$ [-]	0.98		
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	32.0		
$t_{100}$ [min]	11		
$h_c$ [mm]	142.38		
$V_c$ [cm <sup>3</sup> ]	475.24		
$\rho_{nc}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1310		
$w_c$ [%]	121.9		
$u_{br}$ [kPa]	296		
$P$ [-]	2.20		
$v_{max}$ [%/h]	12.3		
$v$ [%/h]	0.99		
Corr methode	Deltares		
Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
$q_u$ [kPa]	67.4		
$f_{undr}$ [kPa]	33.7		
$\varepsilon_{b,50}$ [%]	0.41		
$E_{50}$ [MPa]	5.5		
$w_a$ [%]	121.9		
Bezwijkfiguur			

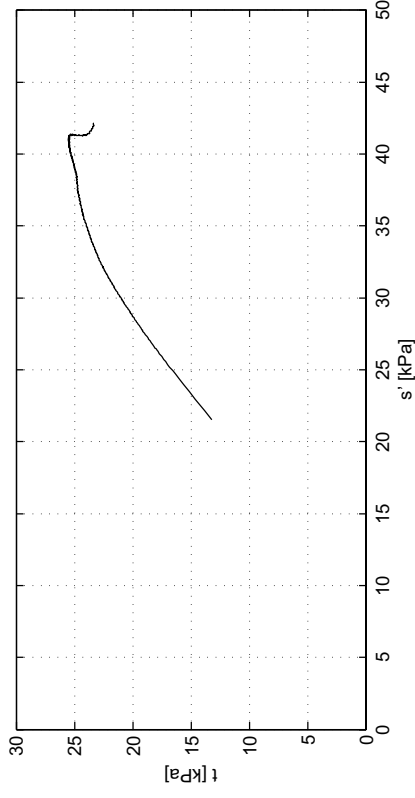
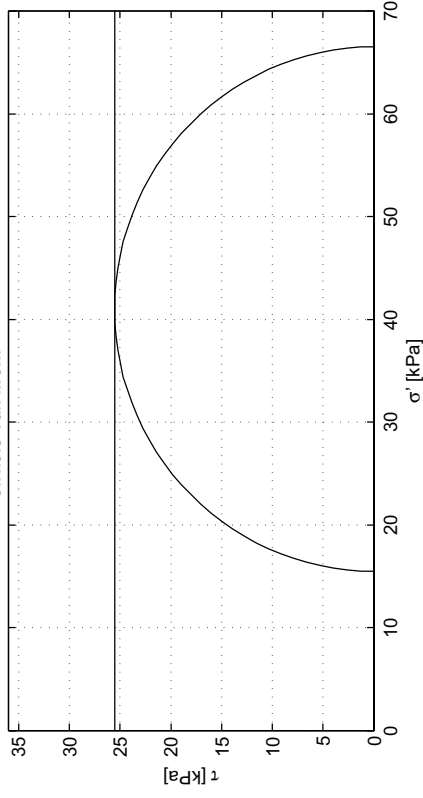
Verticale rek [%]	$s'$ [kPa]	$t$ [kPa]	$c_u$ [kPa]
2.0	43.0	31.5	31.5
5.0	46.1	31.7	31.7
10.0	49.1	32.3	32.3
$t_{max}$ [kPa]	52.6	33.7	33.7

<b>Deltares</b> Doorvertaling Markermeerdijk CU_15DB	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 086 335 7200	Homepage: www.deltares.nl	datum	get.
	Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821		2012-05-08	Kop
<b>CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117</b>				project	gez.
				1203768.18	-
				bijlage	peg.
				TX15DB	2



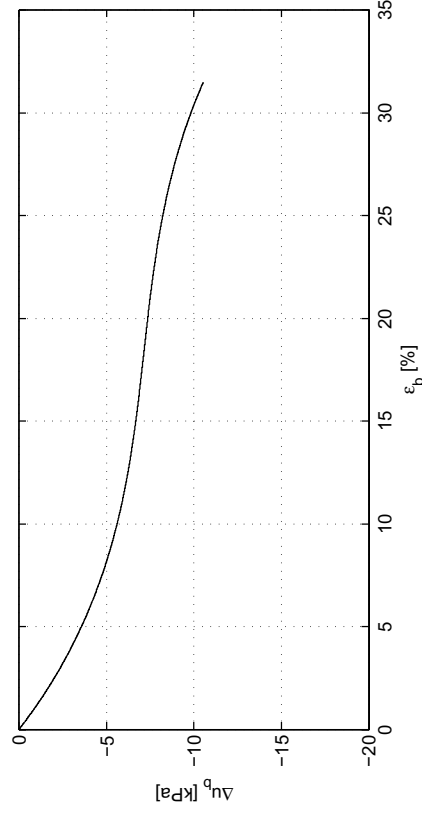
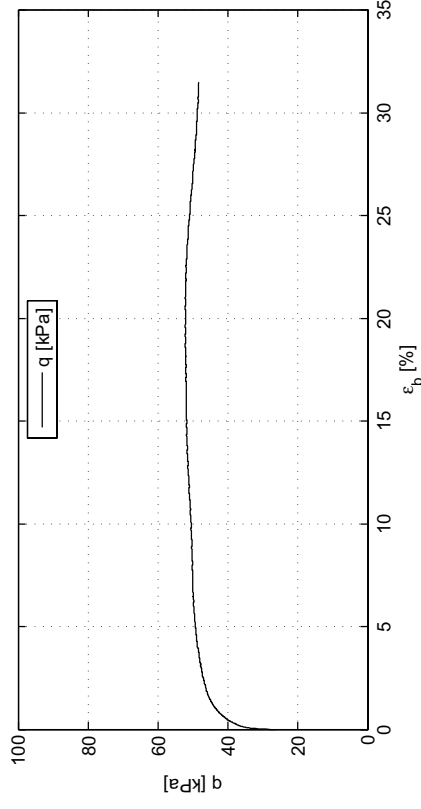


### Cirkels van Mohr



Ongedraineerde schuifsterkte	
$c_u$ [kPa]	25.5
Nummer Boring	B01_Dijk28_...
Monsternaam	48B
Diepte NAP [m]	0.56/0.41
NEN5104 code	Ks2h2
$m_1$ [g]	727.8
$D_1$ [mm]	65.4
$h_1$ [mm]	138.7
$w_1$ [%]	78.2
$\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1562
$\rho_{gr}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	876
Grondsoort	klei

Voor beproeving



#### Testprocedure:

- 1) Anisotropisch geconsolideerd op 5 kPa
- 2) Deviatorspanning naar 5 kPa ( $K_0 = 0.5$ )
- 3)  $\sigma_v$  naar 34 kPa bij gelijkblijvende radiale rek
- 4) Afschuiven op 1.0% per uur
  - De t100 bepaling is niet betrouwbaar door de geleidelijke toename van de consolidatiespanning
  - Monster vertoont na afschuiving meerdere breukvlakken

	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 088 335 7200	Homepage:	datum	get.
	Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2012-06-20	Kop
Doorvertaling Markermeerdijk				project	gez.
CU_48B				1203768.18	-
CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117				bijlage	pag.
				TX48B	1

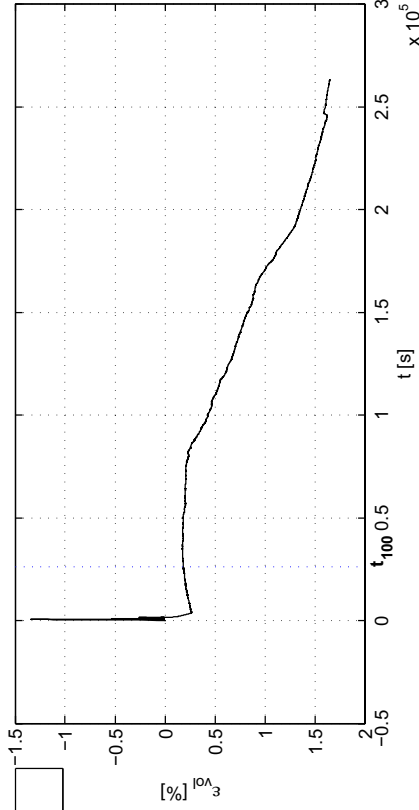
Belastingfase	1	2	3
$B_0$ [-]	0.93		
$B_1$ [-]	0.99		
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	35.3		
$t_{100}$ [min]	438		
$h_c$ [mm]	136.34		
$V_c$ [cm <sup>3</sup> ]	458.35		
$P_{nic}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1571		
$w_c$ [%]	78.8		
$u_{br}$ [kPa]	300		
$P$ [-]	2.20		
$v_{max}$ [%/h]	0.3		
$v$ [%/h]	1.01		
Corr method	Deltares		
Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
$q_u$ [kPa]	51.1		
$f_{undr}$ [kPa]	25.5		
$\varepsilon_{b,50}$ [%]	0.35		
$E_{50}$ [MPa]	3.5		
$w_a$ [%]	78.8		
Bezwijkfiguur			

Verticale rek [%]	$s'$ [kPa]	$t$ [kPa]	$c_u$ [kPa]
2.0	33.0	23.0	23.0
5.0	36.3	24.4	24.4
10.0	38.8	24.9	24.9
$t_{max}$ [kPa]	41.0	25.5	25.5

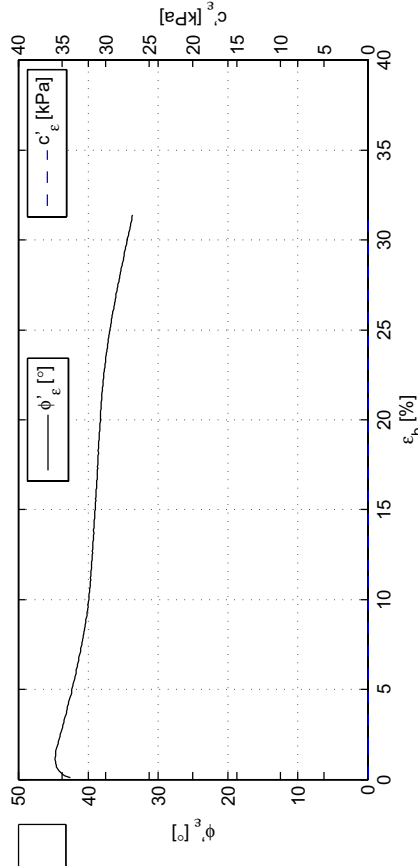
<b>Deltares</b>	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 086 335 7200	Homepage:	datum	get.
	Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2012-06-20	Kop
Doorvertaling Markermeerdijk			project	1203768.18	gez.
CU_48B			bijlage	TX48B	peg.
<b>CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117</b>					

\*) Vrijgegeven door Ess op 2012-06-21 11:10

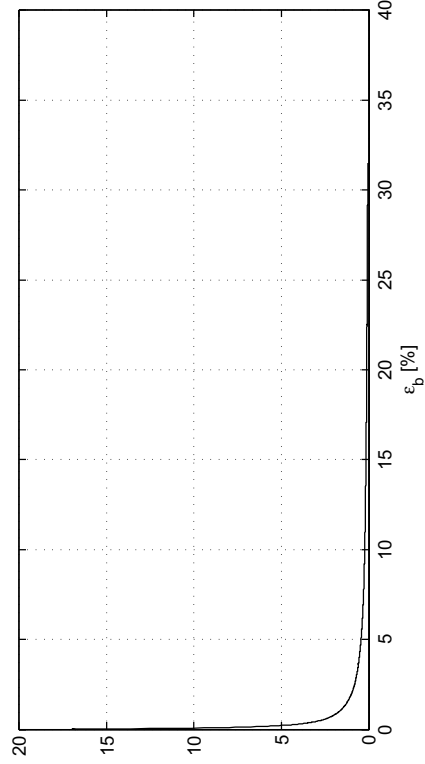
Consolidatiefase

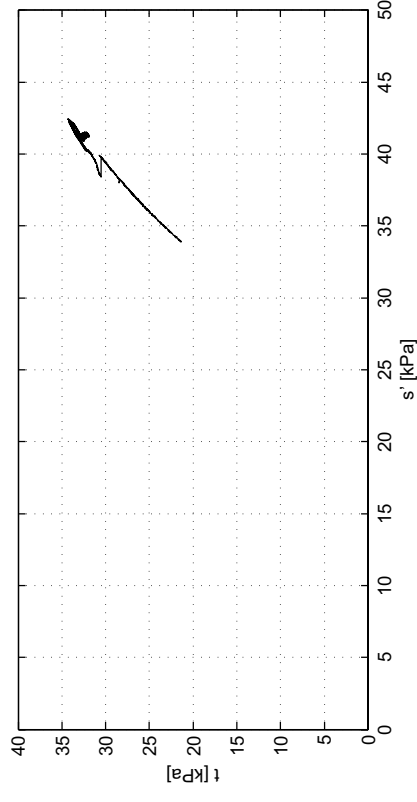
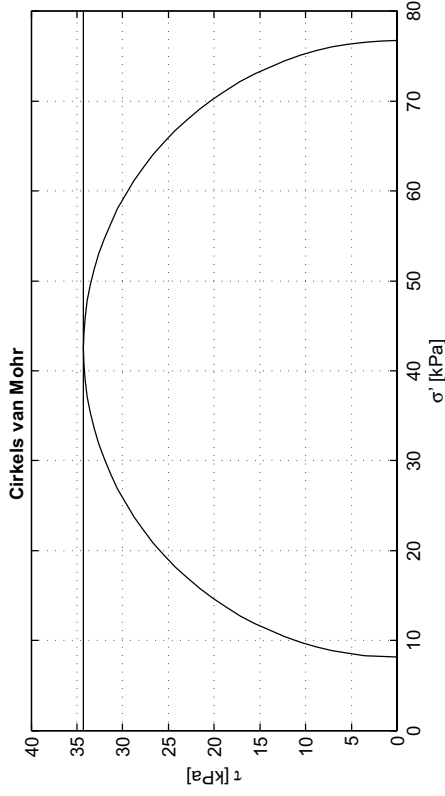


Belastingfase



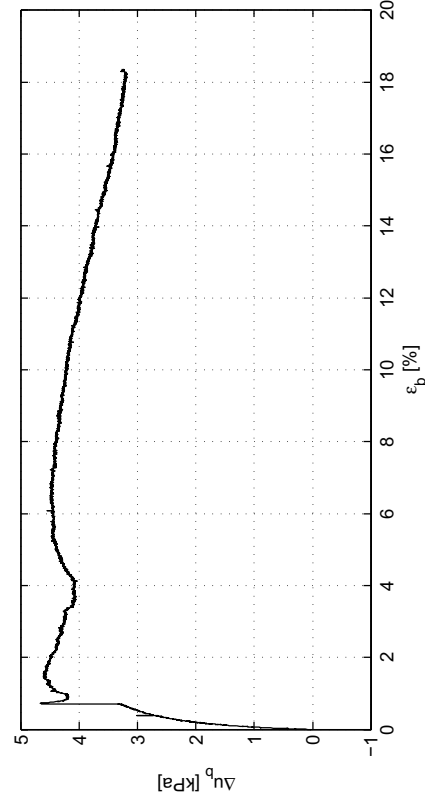
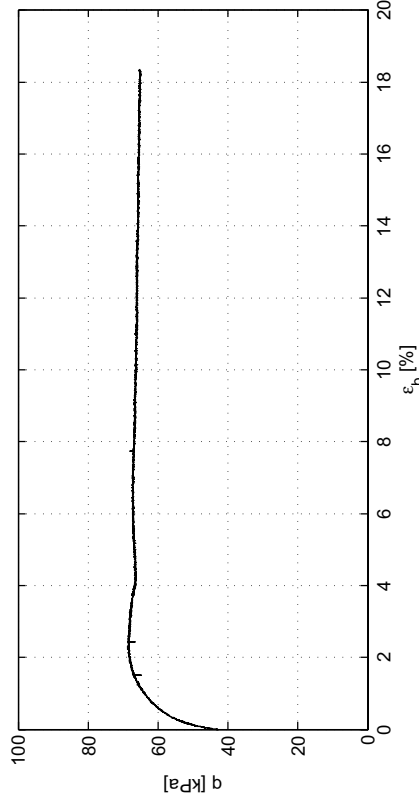
$E_{undr}$  [MPa]





Ongedraineerde schuifsterkte	
$c_u$ [kPa]	34.3
Nummer Boring	B01_Dijk28_...
Monsternaam	51A
Diepte NAP [m]	-1.84/-2.01
NEN5104 code	Ks2h1
$m_1$ [g]	534.9
$D_1$ [mm]	64.5
$h_1$ [mm]	138.5
$w_1$ [%]	105.3
$\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1182
$\rho_{gr}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	576
Grondsoort	klei

Voor beproeving



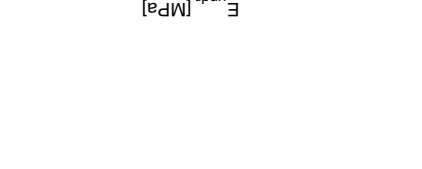
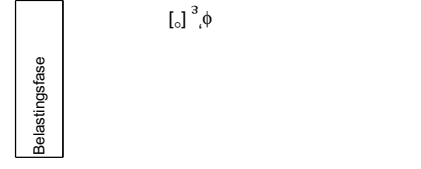
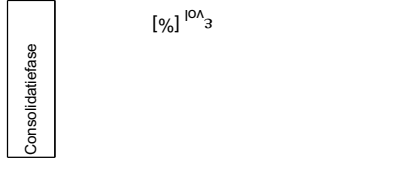
- Testprocedure:
- 1) Isotroopisch geconsolideerd op 5 kPa
  - 2) Deviatorspanning naar 5 kPa ( $K_0 = 0.5$ )
  - 3)  $\sigma_v$  naar 62 kPa bij gelijkblijvende radiale rek
  - 4) Afschuiven op 1.0% per uur
    - De t100 bepaling is niet betrouwbaar door de geleidelijke toename van de consolidatiespanning
    - Monster vertoont na afschuiving meerdere breukvlakken

<b>Deltares</b> Doorvertaling Markermeerdijk CU_51A	Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821	Homepage: www.deltares.nl	datum 2012-05-08	get. Kop
				project 1203768.18	gez. -
<b>CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117</b>				bijlage TX51A	pag. 1

Belastingfase	1	2	3
$B_0$ [-]	0.91		
$B_1$ [-]	0.99		
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	55.4		
$t_{100}$ [min]	33		
$h_c$ [mm]	134.12		
$V_c$ [cm <sup>3</sup> ]	439.37		
$P_{nic}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1187		
$w_c$ [%]	100.2		
$u_{br}$ [kPa]	299		
$P$ [-]	2.20		
$v_{max}$ [%/h]	4.2		
$v$ [%/h]	0.99		
Corr method	Deltares		
Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
$q_u$ [kPa]	68.6		
$f_{undr}$ [kPa]	34.3		
$\epsilon_{b,50}$ [%]	0.32		
$E_{50}$ [MPa]	4.1		
$w_a$ [%]	100.2		
Bezwijkfiguur			

Verticale rek [%]	$s'$ [kPa]	$t$ [kPa]	$c_u$ [kPa]
2.0	42.0	33.9	33.9
5.0	41.3	33.2	33.2
10.0	41.1	32.8	32.8
$t_{max}$ [kPa]	42.5	34.3	34.3

<b>Deltares</b>	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 086 335 7200	Homepage:	datum	get.
	Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2012-05-08	Kop
Doorvertaling Markerneedijk			project	1203768.18	gez.
CU_51A			bijlage	TX51A	pag.
<b>CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117</b>					2



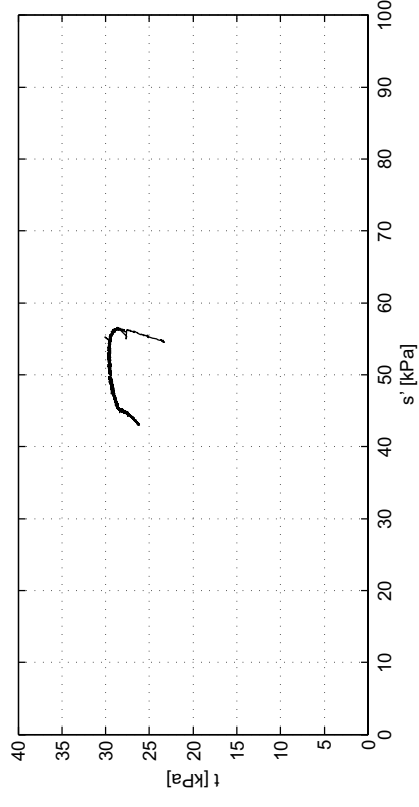
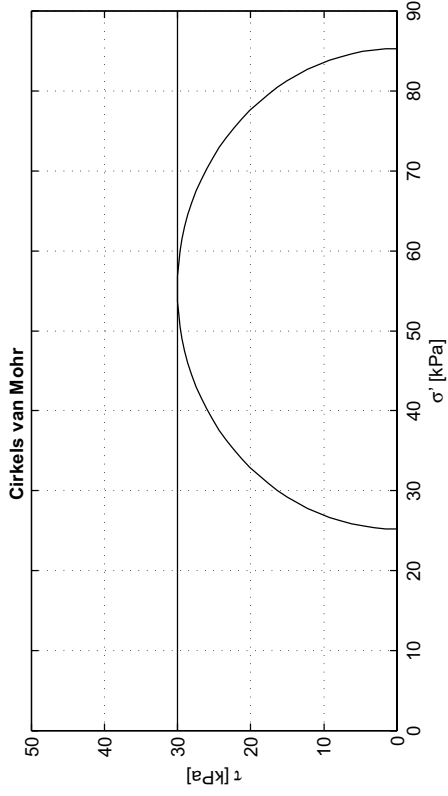
Verzadigingsfase

Consolidatiefase

Belastingfase

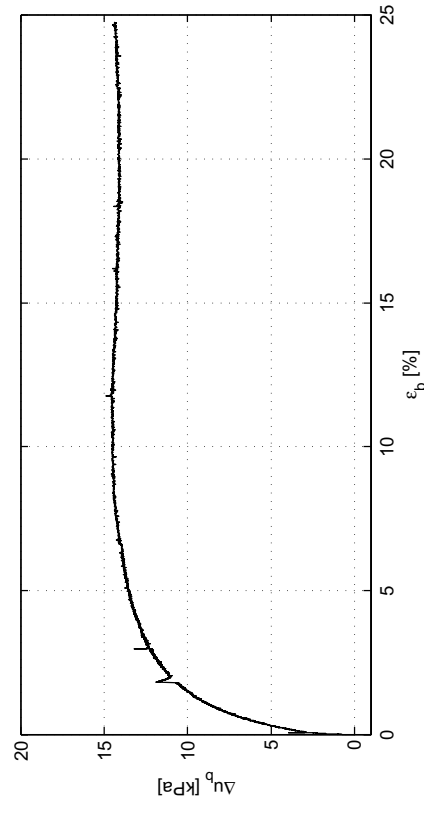
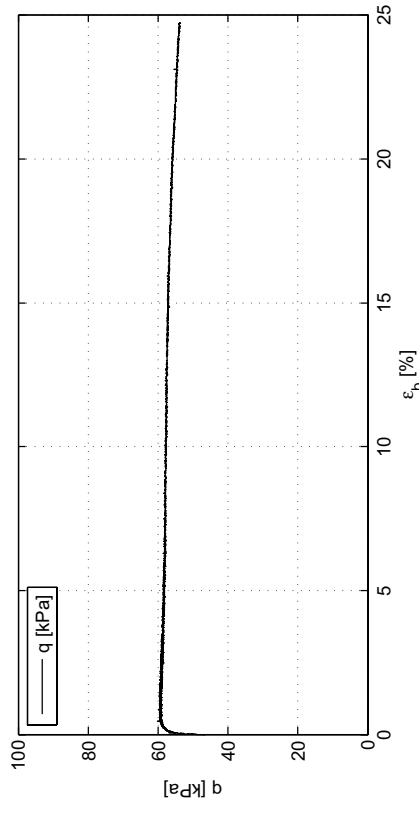
Na beproeving

<sup>1)</sup> Vrijgegeven door Grw op 2012-05-14 17:16



Ongedraineerde schuifsterkte	
$c_u$ [kPa]	30.0
Nummer Boring	B01_Dijk28_...
Monsternaam	55D
Diepte NAP [m]	-6.61/-6.76
NEN5104 code	Ks3h1
$m_1$ [g]	794.1
$D_1$ [mm]	65.3
$h_1$ [mm]	138.9
$w_1$ [%]	51.4
$\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1707
$\rho_{gr}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1128
Grondsoort	klei

Voor beproeving



Testprocedure:

- 1) Isotropisch geconsolideerd op 5 kPa
- 2) Deviatorspanning naar 5 kPa ( $K_0 = 0.5$ )
- 3)  $\sigma_v$  naar 78 kPa bij gelijkblijvende radiale rek
- 4) Afschuiven op 1.0% per uur
  - De t100 bepaling is niet betrouwbaar door de geleidelijke toename van de consolidatiespanning
  - Monster vertoont na afschuiving meerdere breukvlakken

<b>Deltares</b> Doorvertaling Markermeerdijk CU_55D	Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821	Homepage: <a href="http://www.deltares.nl">www.deltares.nl</a>	datum 2012-05-14	get. ees
	project 1203768.18		bijlage TX55D	gez. -	pag. 1

**CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117**

Belastingfase	1	2	3
$B_0$ [-]	0.88		
$B_1$ [-]	0.99		
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	78.3		
$t_{100}$ [min]	94		
$h_c$ [mm]	130.36		
$V_c$ [cm <sup>3</sup> ]	441.91		
$P_{n,c}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1744		
$w_c$ [%]	46.9		
$u_{br}$ [kPa]	298		
$P$ [-]	2.20		
$v_{max}$ [%/h]	1.5		
$v$ [%/h]	0.99		
Corr method	Deltares		
Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
$q_u$ [kPa]	60.1		
$f_{undr}$ [kPa]	30.0		
$\varepsilon_{b,50}$ [%]	0.04		
$E_{50}$ [MPa]	16.6		
$w_d$ [%]	46.9		
Bezwijfiguur			

Verzadigingsfase

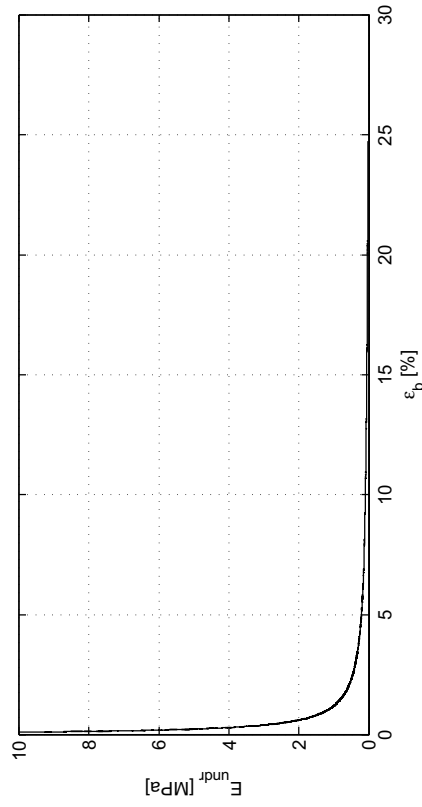
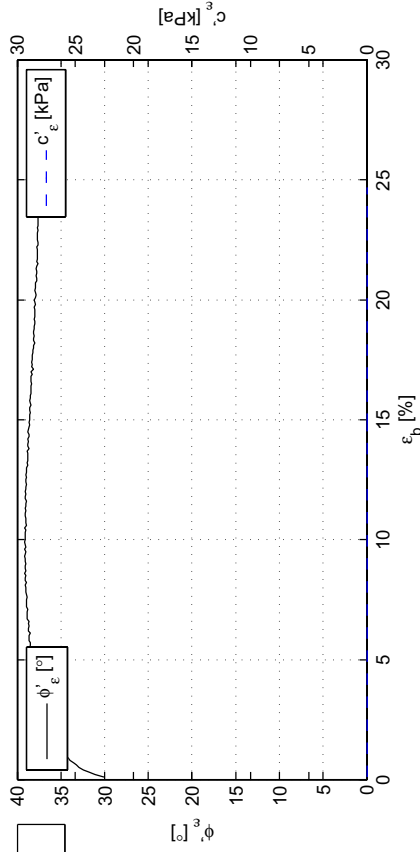
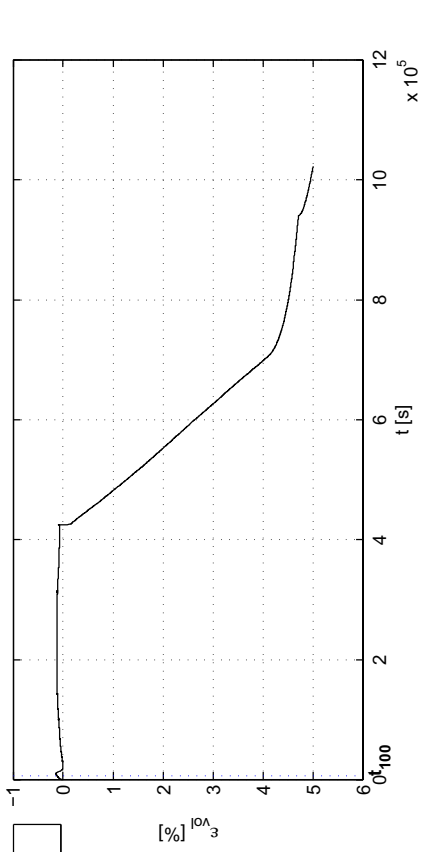
Consolidatiefase

Belastingfase

Na beproeving

Consolidatiefase

Belastingfase



Verticale rek [%]	$s'$ [kPa]	$t$ [kPa]	$c_u$ [kPa]
2.0	49.7	29.5	29.5
5.0	46.6	28.9	28.9
10.0	45.2	28.5	28.5
$t_{max}$ [kPa]	55.3	30.0	30.0

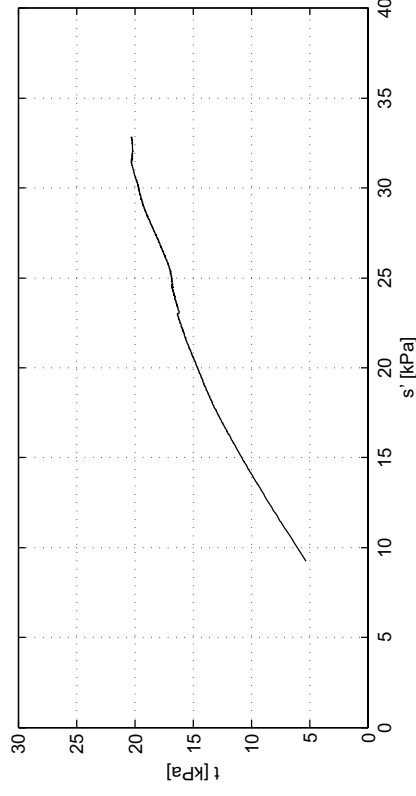
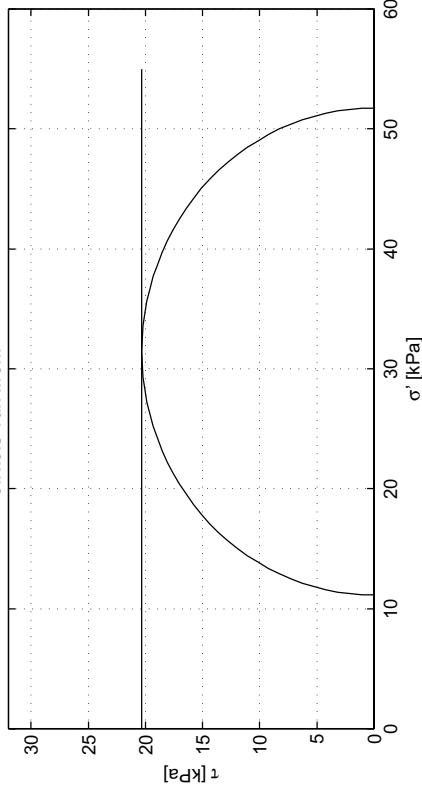
**Deltares** Postbus 177, 2600 MH Delft  
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft  
 Telefoon 088 335 7200 Homepage: www.deltares.nl  
 Telefax 015 261 0821

Doorvertaling Markermeerdijk  
 CU\_55D

CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117

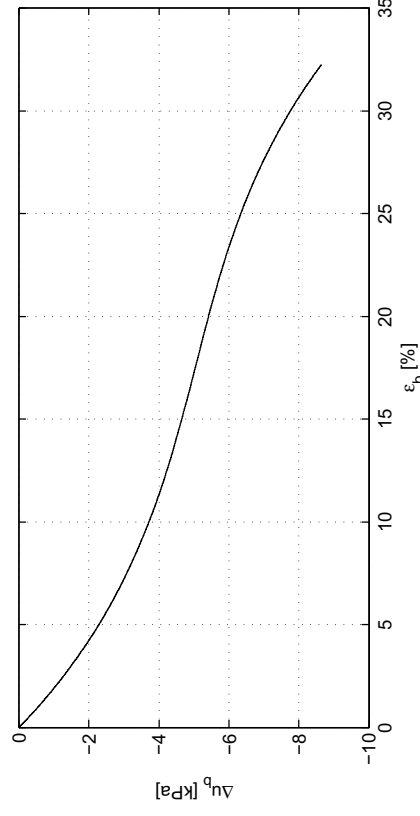
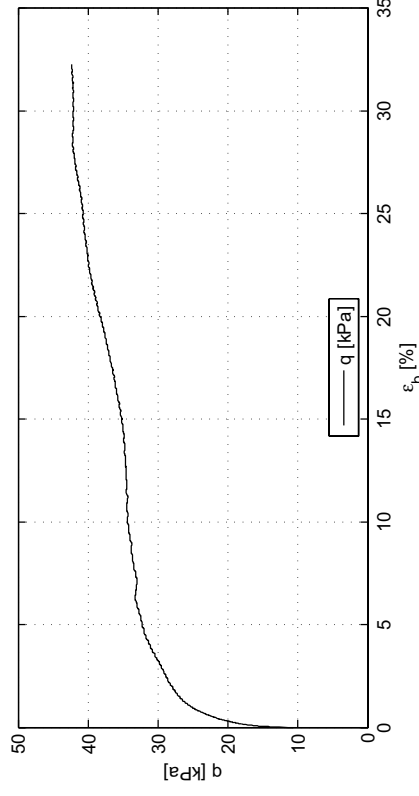
get.	datum	2012-05-14	ees
gez.	project	1203768.18	-
peg.	bijlage	TX55D	2

### Cirkels van Mohr



Ongedraineerde schuifsterkte	
$c_u$ [kPa]	20.3
Nummer Boring	B01_Dijk28_...
Monsternaam	70B
Diepte NAP [m]	1.92/1.77
NEN5104 code	Ks2
$m_l$ [g]	726.8
$D_l$ [mm]	63.6
$h_l$ [mm]	139.1
$w_l$ [%]	38.1
$\rho_l$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1645
$\rho_{gr}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1191
Grondsoort	klei

Voor beproeving



### Testprocedure:

- 1) Anisotropisch geconsolideerd op 5 kPa
- 2) Deviatorspanning naar 5 kPa ( $K_0 = 0.5$ )
- 3)  $\sigma_v$  naar 18 kPa bij gelijkblijvende radiale rek
- 4) Afschuiven op 1.0% per uur
  - De t100 bepaling is niet betrouwbaar door de geleidelijke toename van de consolidatiespanning
  - Monster vertoont na afschuiving meerdere breukvlakken

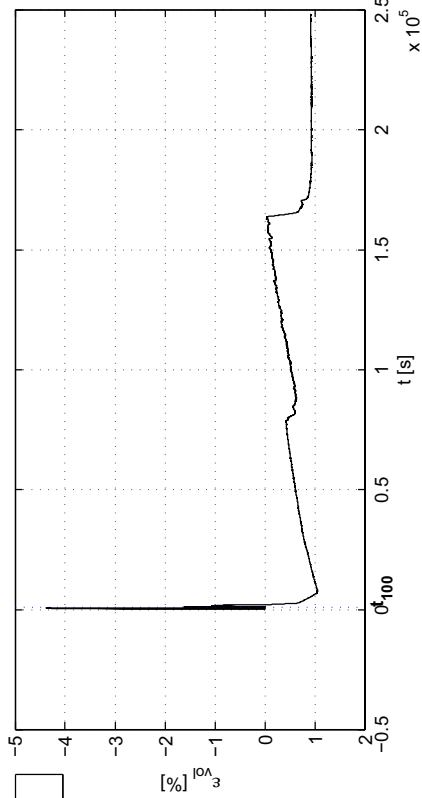
	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 088 335 7200	Homepage:	datum	get.
	Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2012-06-20	Kop
Doorvertaling Markermeerdijk				project	gez.
CU_70B				1203768.18	-
CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117				bijlage	peg.
				TX70B	1

Belastingfase	1	2	3
$B_0$ [-]	0.72		
$B_1$ [-]	0.98		
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	19.1		
$t_{100}$ [min]	15		
$h_c$ [mm]	136.97		
$V_c$ [cm <sup>3</sup> ]	437.69		
$\rho_{nc}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1651		
$w_c$ [%]	42.9		
$u_{br}$ [kPa]	300		
$P$ [-]	2.20		
$v_{max}$ [%/h]	9.0		
$v$ [%/h]	1.01		
Corr method	Deltares		
Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
$q_u$ [kPa]	40.6		
$f_{undr}$ [kPa]	20.3		
$\varepsilon_{b,50}$ [%]	1.10		
$E_{50}$ [MPa]	1.4		
$w_d$ [%]	42.9		
Bezwijfiguur			

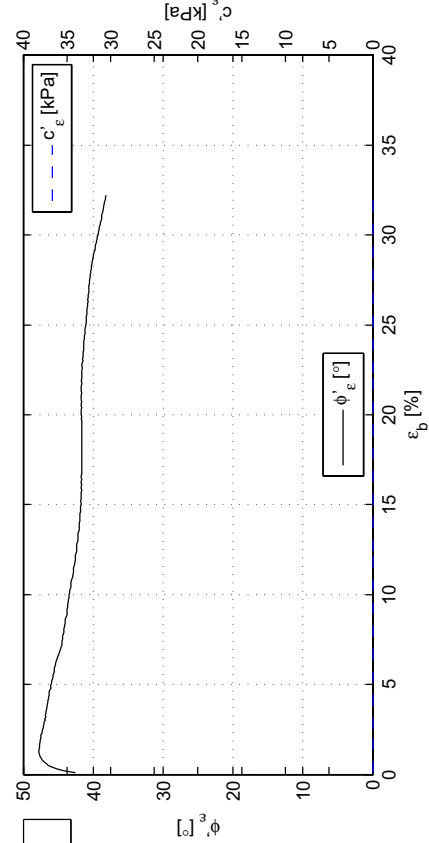
Verticale rek [%]	$s'$ [kPa]	$t$ [kPa]	$c_u$ [kPa]
2.0	18.9	13.9	13.9
5.0	22.1	15.9	15.9
10.0	24.4	16.8	16.8
$t_{max}$ [kPa]	31.4	20.3	20.3

<b>Deltares</b>		Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 088 335 7200	Homepage:	datum	get.
Doorvertaling Markermeerdijk		Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2012-06-20	Kop
CU_70B					project	gez.
CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117					1203768.18	-
					bijlage	peg.
					TX70B	2

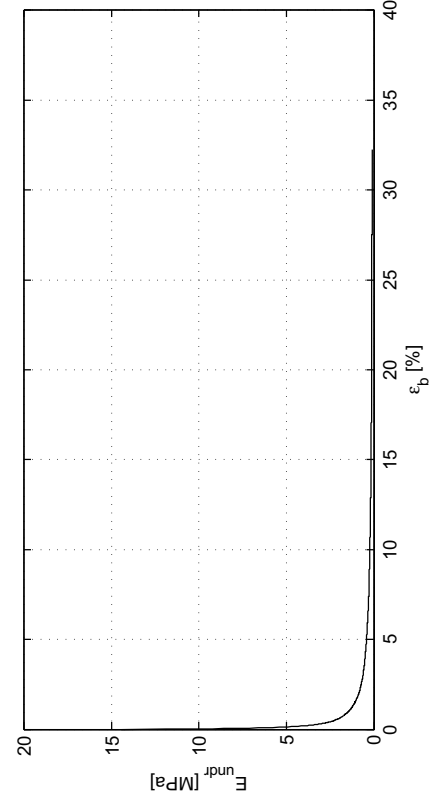
Consolidatiefase



Belastingfase



Belastingfase



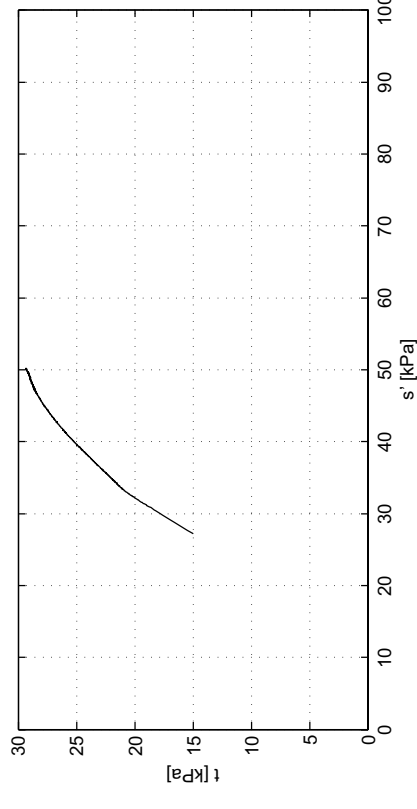
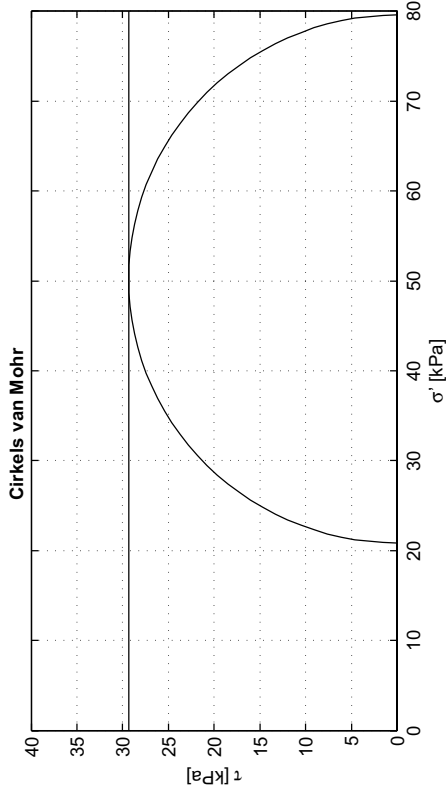
Verzadigingsfase

Consolidatiefase

Belastingfase

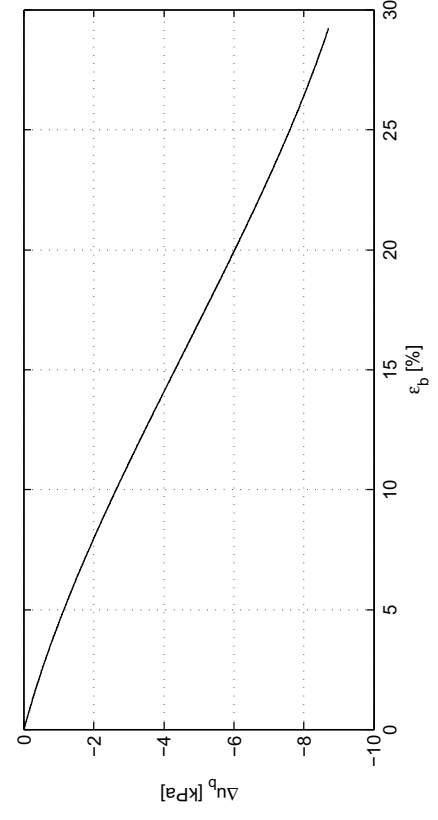
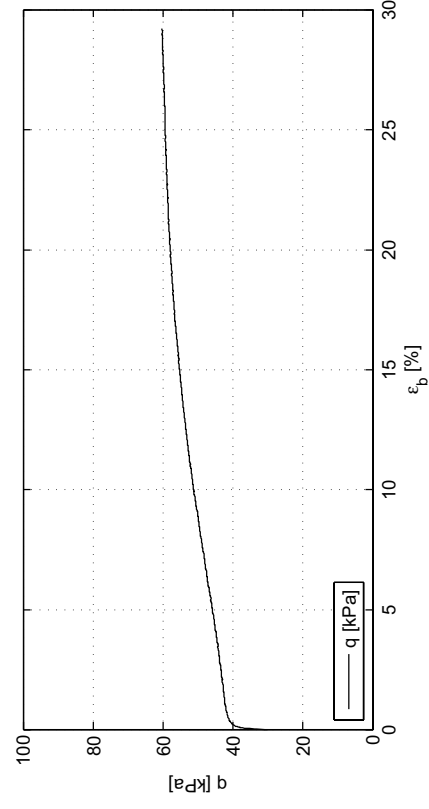
Na beproeving





Ongedraineerde schuifsterkte	
$c_u$ [kPa]	29.4
Nummer Boring	B01_Dijk28_...
Monsternaam	71C
Diepte NAP [m]	0.96/0.81
NEN5104 code	Ks2
$m_1$ [g]	769.9
$D_1$ [mm]	64.2
$h_1$ [mm]	139.4
$w_1$ [%]	46.8
$\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1706
$\rho_{gr}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1163
Grondsoort	klei


Voor beproeving



- Testprocedure:
- 1) Isotroopisch geconsolideerd op 5 kPa
  - 2) Deviatorspanning naar 5 kPa ( $K_0 = 0.5$ )
  - 3)  $\sigma_v$  naar 42 kPa bij gelijkblijvende radiale rek
  - 4) Afschuiven op 1.0% per uur
    - De t100 bepaling is niet betrouwbaar door de geleidelijke toename van de consolidatiespanning
    - Monster vertoont na afschuiving meerdere breukvlakken

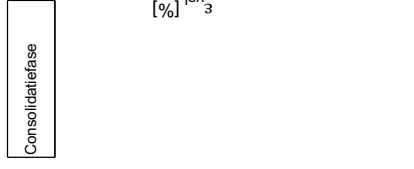
**Deltares**  
 Doorvertaling Markermeerdijk  
 CU\_71C  
 CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117

Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 088 335 7200	Homepage:	datum	get.
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2012-06-20	Kop
			project	gez.
			1203768.18	-
			bijlage	pag.
			TX71C	1

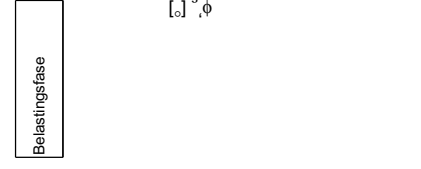
Belastingfase	1	2	3
$B_0$ [-]	0.93		
$B_1$ [-]	0.99		
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	43.9		
$t_{100}$ [min]	517		
$h_c$ [mm]	134.09		
$V_c$ [cm <sup>3</sup> ]	433.68		
$P_{nic}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1735		
$w_c$ [%]	47.5		
$u_{br}$ [kPa]	300		
$P$ [-]	2.20		
$v_{max}$ [%/h]	0.3		
$v$ [%/h]	0.98		
Corr method	Deltares		
Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
$q_u$ [kPa]	58.7		
$t_{undr}$ [kPa]	29.4		
$\epsilon_{b,50}$ [%]	3.86		
$E_{50}$ [MPa]	0.4		
$w_d$ [%]	47.5		
Bezwijkfiguur			

Verticale rek [%]	$s'$ [kPa]	$t$ [kPa]	$c_u$ [kPa]
2.0	34.0	21.4	21.4
5.0	36.0	22.7	22.7
10.0	40.1	25.3	25.3
$t_{max}$ [kPa]	50.2	29.4	29.4

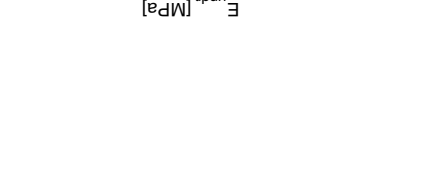
<b>Deltares</b> Doorvertaling Markermeerdijk CU_71C	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 088 335 7200	Homepage: <a href="http://www.deltares.nl">www.deltares.nl</a>	datum	get.
	Stieltseweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821		2012-06-20	Kop
<b>CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117</b>				project	gez.
				1203768.18	-
				bijlage	pag.
				TX71C	2



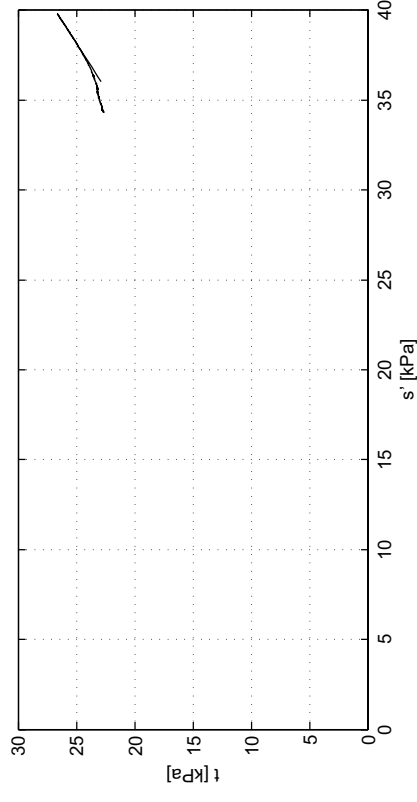
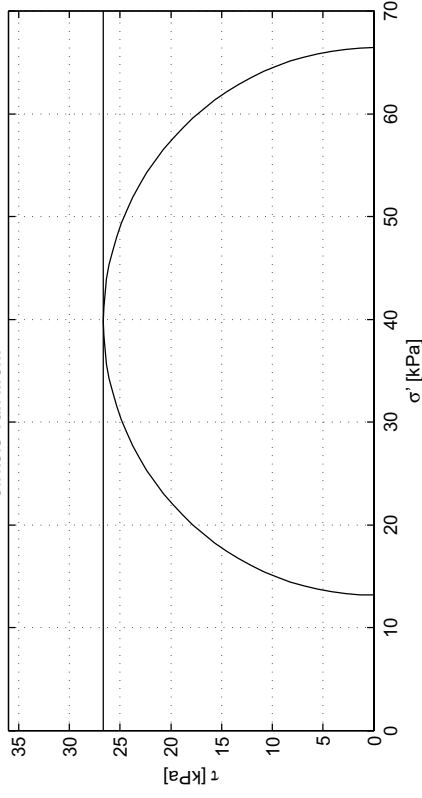
Consolidatiefase



Belastingfase

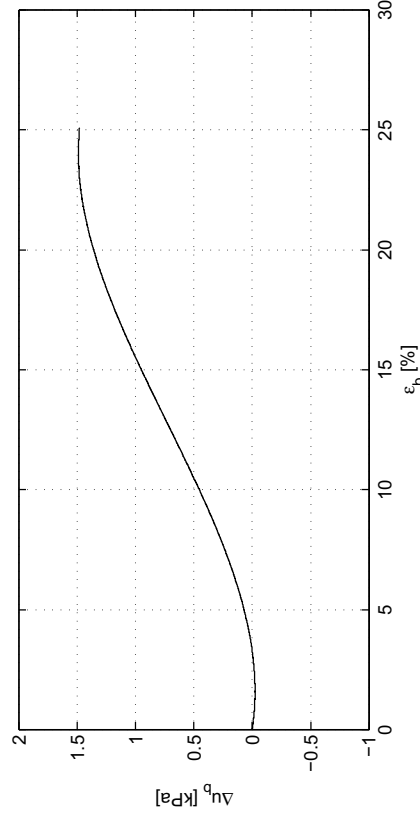
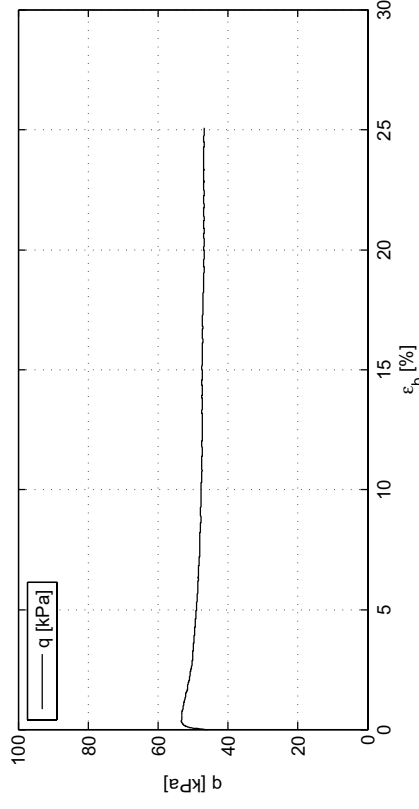


### Cirkels van Mohr



Ongedraineerde schuifsterkte	
$c_u$ [kPa]	26.6
Nummer Boring	B01_Dijk28_...
Monsternaam	74C
Diepte NAP [m]	-2.36/-2.51
NEN5104 code	Ks2h3
$m_1$ [g]	569.1
$D_1$ [mm]	64.1
$h_1$ [mm]	138.3
$w_1$ [%]	156.6
$\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1276
$\rho_{gr}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	497
Grondsoort	klei

Voor beproeving



#### Testprocedure:

- 1) Anisotropisch geconsolideerd op 5 kPa
- 2) Deviatorspanning naar 5 kPa ( $K_0 = 0.5$ )
- 3)  $\sigma_v$  naar 60 kPa bij gelijkblijvende radiale rek
- 4) Afschuiven op 1.0% per uur
  - De t100 bepaling is niet betrouwbaar door de geleidelijke toename van de consolidatiespanning
  - Monster vertoont na afschuiving meerdere breukvlakken

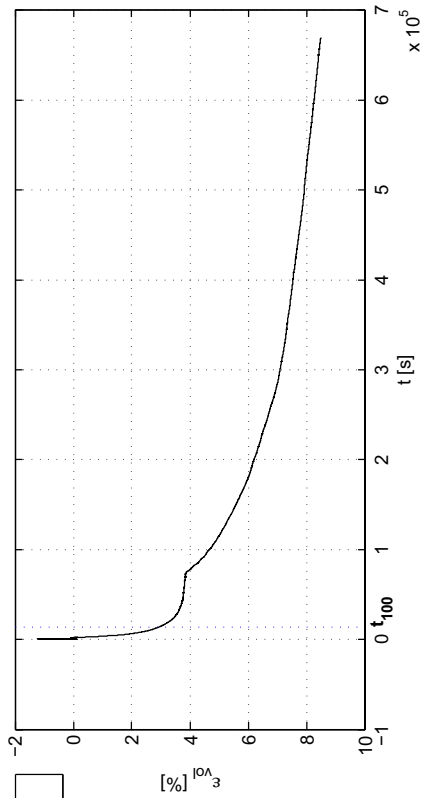
<b>Deltares</b> Doorvertaling Markermeerdijk CU_74C	Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum 2012-06-20 project 1203768.18 bijlage TX74C	get. Kop gez. - pag. 1
	<b>CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117</b>		

Belastingfase	1	2	3
$B_0$ [-]	0.86		
$B_1$ [-]	0.99		
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	60.8		
$t_{100}$ [min]	227		
$h_c$ [mm]	130.67		
$V_c$ [cm <sup>3</sup> ]	408.36		
$P_{n,c}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1301		
$w_c$ [%]	141.7		
$u_{br}$ [kPa]	300		
$P$ [-]	2.20		
$v_{max}$ [%/h]	0.6		
$v$ [%/h]	1.01		
Corr method	Deltares		
Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
$q_u$ [kPa]	53.3		
$f_{undr}$ [kPa]	26.6		
$\epsilon_{b,50}$ [%]	0.05		
$E_{50}$ [MPa]	7.9		
$w_d$ [%]	141.7		
Bezwijkfiguur			

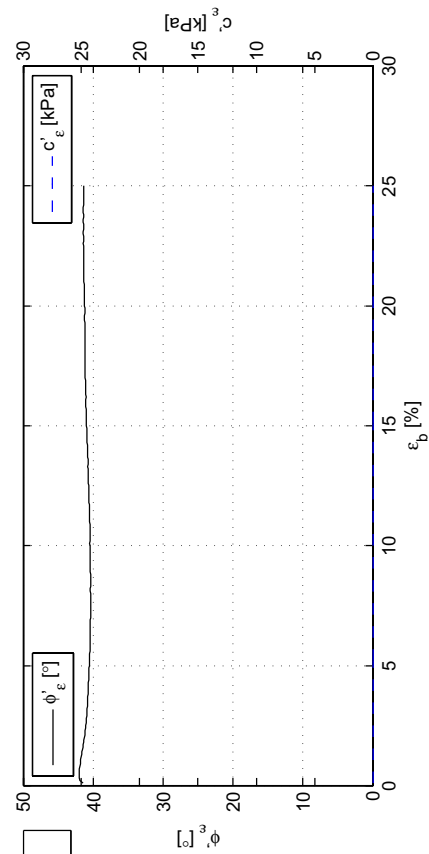
Verticale rek [%]	$s'$ [kPa]	$t$ [kPa]	$c_u$ [kPa]
2.0	38.7	25.5	25.5
5.0	37.4	24.3	24.3
10.0	36.2	23.5	23.5
$t_{max}$ [kPa]	39.8	26.6	26.6

<b>Deltares</b> Doorvertaling Markermeerdijk CU_74C	Postbus 177, 2600 MH Delft	Telefoon 086 335 7200	Homepage:	datum	get.
	Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2012-06-20	Kop
<b>CU Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117</b>			project	1203768.18	gez.
			bijlage	TX74C	peg.
					2

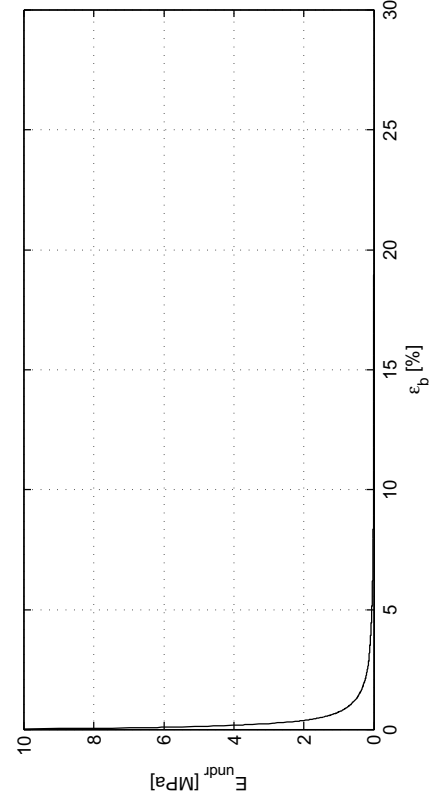
Consolidatiefase



Belastingfase



Na beproeving



## **H Wrijvingsparameters doorvertaling**

Algemeen		Gemiddelde waarden				Representatieve waarden				Rekenwaarden				
Grondsoort	Aantal proeven sterktebepaling (n)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]	spannings- traject	$\varphi$ [graden]	$c'$ [kPa]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]	spannings- traject	$\varphi$ [graden]	$c'$ [kPa]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]
ZAND, los gepakt	-	17,0 (droog) / 19,0 (nat)	0	0,0	0-200	31,6	0,0	200	122,8	0-200	30,0	0,0	200	116,5
ZAND, Pleistoceen	-	19,0 (droog) / 21,0 (nat)	0	0,0	0-200	36,7	0,0	200	149,0	0-200	35,0	0,0	200	140,0
ZAND, ophoogmateriaal	-	18,0 (droog) / 20,0 (nat)	0	0,0	0-200	34,1	0,0	200	135,5	0-200	32,5	0,0	200	127,4
KLEI, ophoogmateriaal	-	16,5	0	4,3	0-200	27,9	4,3	200	110,0	0-200	26,4	3,8	200	103,2
Siltsteen	-	18,0 (droog) / 20,0 (nat)	0	0,0	0-200	34,1	0,0	200	135,5	0-200	32,5	0,0	200	127,4
<b>Hoorn - Edam Noord (Hoorn - Schardam, dijk 20)</b>														
Grondsoort	Aantal proeven sterktebepaling (n)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]	spannings- traject	$\varphi$ [graden]	$c'$ [kPa]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]	spannings- traject	$\varphi$ [graden]	$c'$ [kPa]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]
KLEI, antropogeen kruih	7	15,6	0	9,8	0-40 40-200	29,6 29,0	9,8	0 200	32,6 121,1	0-40 40-200	29,8 25,8	6,1	0 200	6,1 108,4
KLEI, Dinkerke	4	13,0 (vla) 13,9 (bit)	0	5,7	0-40 40-200	30,1 27,3	5,7	0 200	57 111,5	0-40 40-200	27,0 19,7	0,8	0 200	0,8 78,4
KLEI, Calais achterland	14	14,7	0	3,2	0-40 40-200	30,2 29,5	3,2	0 200	3,2 117,0	0-40 40-200	28,5 25,8	1,7	0 200	1,7 100,9
KLEI, Calais kruidbinnenbermteel	12	14,9 (bl) 14,5 (kr)	0	5,4	0-40 40-200	28,3 27,5	5,4	0 200	26,9 110,3	0-40 40-200	28,0 25,0	3,1	0 200	3,1 98,8
KLEI, Calais voerland	4	14,4	0	1,7	0-40 40-200	28,9 28,2	1,7	0 200	1,7 109,7	0-40 40-200	20,1 16,9	0,6	0 200	0,6 63,8
KLEI, Calais water	8	14,1	0	2,4	0-40 40-200	25,4 24,6	2,4	0 200	2,4 94,8	0-40 40-200	18,2 16,8	1,0	0 200	1,0 62,5
VEEN, antropogeen kruidbinnenbermteel	6	11,1	0	6,7	0-40 40-200	21,9 21,1	6,7	0 200	6,7 84,5	0-40 40-200	18,4 16,2	3,2	0 200	3,2 63,1
VEEN, Hollandveen kruidbinnenbermteel	-	10,4	0	2,3	0-40 40-200	17,8 17,2	2,3	0 200	2,3 64,5	0-40 40-200	16,9 15,1	1,0 (0,8)	0 200	1,0 56,0
VEEN, Basisveen (gebaseerd op VEEN, Hollandveen, kruih, binnenberm, teel)	5	10,0 (9,1/9,7)	0	1,8	0-40 40-200	19,1 18,6	1,8	0 200	1,8 69,5	0-40 40-200	15,8 13,2	1,0	0 200	1,0 54,6
VEEN, Hollandveen voor/achterland	6	10,0 (9,7)	0	0,0	0-200	31,6	0,0	200	122,8	0-200	30,0	0,0	200	116,5
ZAND, Calais	-	18,5 (droog) / 19,5 (nat) (17,4)	0	0,0	0-200	34,1	0,0	200	135,5	0-200	32,5	0,0	200	127,4
ZAND, antropogeen	-	18,0 (droog) / 20,0 (nat)	0	0,0	0-200	34,1	0,0	200	135,5	0-200	32,5	0,0	200	127,4

Hoor - Edam Zuid (Hoor - Scharдам, djk 21 tm 23)			
Grondsoort	Aantal proeven	$\gamma$	$\tau$
	sterktebepaling (n)	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
KLEI, antropogeen kruin	23	14.7	7.4
KLEI, antropogeen binnenberm/teen	4	14.3	5.9
KLEI, Duinkerke	6	14.0 (a) 14.5 (bit/kt) 12.7 (v/w)	27.0 98.8
KLEI, Calais achterland	16	13.6	0.6 28.1 104.9
KLEI, Calais binnenberm/teen	31	14.1	2.1 4.8 24.8 102.4
KLEI, Calais kruin	5	14.4	0 40 200
KLEI, Calais voorland	9	13.9	0 40 200
KLEI, Calais water	11	13.7	0 40 200
VEEN, antropogeen kruin/ binnenberm/ teen	5	11.0	0 40 200
VEEN, Hollandvee'n kruin/ binnenberm/ teen	-	10.6	0 40 200
VEEN, Basisveen (gebaseerd op VEEN, Hollandvee'n, kruin, binnenberm, teen)	-	10.6	0 40 200
VEEN, Hollandvee'n voor-achterland	8	10.1	0 40 200
VEEN, Hollandvee'n water	6	10.0 (9.8)	0 40 200
ZAND, Calais	-	18.5 (droog) / 19.5 (nat) (17.5)	0 200 122.8
ZAND, antropogeen	-	18.0 (droog) / 20.0 (nat) (16.7)	0 200 135.5

Gemiddelde waarden					
spannings- traject	$\phi'$ [graden]	$c'$ [kPa]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
0-40	29.2	7.4	0	7.4	
40-200	27.9	5.9	40	29.8	
0-40	27.7	0.6	200	114.5	
40-200	24.1	2.1	40	27.0	
0-40	30.1	0.6	40	98.8	
40-200	26.9	2.1	200	104.9	
0-40	27.7	4.8	0	2.1	
40-200	26.1	6.0	40	28.1	
0-40	26.6	2.2	200	101.6	
40-200	25.9	0.4	40	4.8	
0-40	24.1	6.0	40	24.8	
40-200	23.5	0.4	200	102.4	
0-40	25.3	2.2	0	6.0	
40-200	24.7	1.4	40	23.9	
0-40	28.5	0.4	200	93.6	
40-200	27.4	1.4	40	22.1	
0-40	28.3	1.1	200	105.1	
40-200	22.6	1.1	0	2.2	
0-40	19.3	1.1	40	21.2	
40-200	18.5	1.1	200	94.6	
0-40	18.4	1.1	0	0.4	
40-200	18.5	1.1	40	22.1	
0-200	31.6	0.0	200	105.1	
0-200	34.1	0.0	0	1.4	
			200	23.0	
			200	89.5	

Representatieve waarden					
spannings- traject	$\phi'$ [graden]	$c'$ [kPa]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
0-40	28.2	4.5	0	4.5	Staf c
40-200	23.4	0.7	40	25.9	stdefphil
0-40	26.3	0.7	200	95.3	stdef phil2
40-200	17.3	0.0	0	0.7	Staf c
0-40	21.3	0.0	40	20.5	stdefphil
40-200	19.4	0.5	200	70.4	stdef phil2
0-40	23.7	0.5	0	0.5	Staf c
40-200	20.2	2.9	40	18.0	stdefphil
0-40	25.0	2.9	200	76.9	stdef phil2
40-200	23.1	3.0	0	2.9	Staf c
0-40	22.6	3.0	40	21.5	stdefphil
40-200	19.9	1.1	200	89.8	stdef phil2
0-40	22.3	1.1	0	1.1	Staf c
40-200	19.3	0.0	40	17.5	stdefphil
0-40	22.9	0.0	200	73.4	stdef phil2
40-200	21.7	1.0	0	0.0	Staf c
0-40	22.4	1.0	40	16.9	stdefphil
40-200	13.1	0.0	200	80.7	stdef phil2
0-40	16.3	1.0	0	1.0	Staf c
40-200	16.8	1.0	40	12.7	stdefphil
0-40	15.0	1.0	200	60.9	stdef phil2
40-200	15.0	1.0	0	1.0	Staf c
0-200	30.0	0.0	40	11.7	stdefphil
0-200	32.5	0.0	200	54.6	stdef phil2
0-200	32.5	0.0	0	0.0	Staf c
			200	115.5	stdefphil
			0	0.0	Staf c
			200	127.4	stdef phil2

3.203476144  
1.093874903  
4.78825641  
3.130860517  
0.863702177  
4.063681948  
0.445910951  
6.722688353  
5.779636915  
1.653086655  
4.157782373  
6.041638912  
2.195803216  
1.731078764  
3.024794154  
2.125745843  
1.061664751  
2.544421847  
1.002282612  
2.737157315  
4.816683765  
0.377982772  
5.301449523  
5.361164035  
0.272710815  
4.153595496  
6.628970589  
0.086192949  
2.585788458  
1.466682431  
0.076881198  
2.613960748  
2.690841947

Hoom - Edam Noord (Hoom - Schardam, dijk 20)		
Grondsoort	Aantal proeven sterktebepaling (n)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
KLEI, antropogeen <i>kruin</i>	7	15,6
KLEI, Duinkerke	4	13,0 (via) 13,9 (bi/t)
KLEI, Calais <i>achterland</i>	14	14,7
KLEI, Calais <i>kruin/binnenbeem/teen</i>	12	14,9 (bi) 14,5 (kr)
KLEI, Calais <i>voorland</i>	4	14,4
KLEI, Calais <i>water</i>	8	14,1
VEEN, antropogeen <i>kruin/binnenbeem/teen</i>	6	11,1
VEEN, Hollandveen <i>kruin/binnenbeem/teen</i>		10,4
VEEN, Basisveen (gebaseerd op VEEN, Hollandveen, <i>kruin</i> , <i>binnenbeem, teen</i> )	-	10,4
VEEN, Hollandveen <i>voor-/achterland</i>	5	10,0 (9,1/9,7)
VEEN, Hollandveen <i>water</i>	6	10,0 (9,7)
ZAND, Calais	-	18,5 (droog) / 19,5 (nat) (17,4)
ZAND, antropogeen	-	18,0 (droog) / 20,0 (nat)

Gemiddelde waarden					
spannings- traject	$\phi$ [graden]	c' [kPa]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Stdef c
0-40	29,6	9,8	0	9,8	6,1
40-200	29,0	5,7	0	32,6	29,0
0-40	30,1	3,2	0	5,7	0,8
40-200	27,3	3,2	40	28,9	21,2
			200	111,3	78,4
0-40	30,2	5,4	0	3,2	1,7
40-200	29,5	5,4	40	26,5	23,5
			200	117,0	100,9
0-40	28,3	1,7	0	5,4	3,1
40-200	27,5	1,7	40	26,9	24,3
			200	110,3	98,8
0-40	28,9	2,4	0	1,7	0,6
40-200	28,2	2,4	40	23,8	15,2
			200	109,7	63,8
0-40	25,4	6,7	0	2,4	1,0
40-200	24,6	6,7	40	21,4	14,2
			200	94,8	62,5
0-40	21,9	2,3	0	6,7	3,2
40-200	21,1	2,3	40	22,8	16,5
			200	84,5	63,1

Representatieve waarden					
spannings- traject	$\phi$ [graden]	c' [kPa]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Stdef c
0-40	29,8	6,1	0	6,1	3,021463822
40-200	25,8	0,8	40	29,0	-0,114582841
			200	106,4	2,581893664
0-40	27,0	1,7	0	0,8	2,95858997
40-200	19,7	1,7	40	21,2	1,861941624
			200	78,4	4,593759973
0-40	28,5	3,1	0	1,7	1,434227444
40-200	25,8	3,1	40	23,5	1,679161474
			200	100,9	3,666665932
0-40	28,0	0,6	0	3,1	2,285759299
40-200	25,0	0,6	40	24,3	0,238242258
			200	98,8	2,475614638
0-40	20,1	3,2	0	0,6	0,673044871
40-200	16,9	3,2	40	15,2	5,285050838
			200	63,8	6,812848531
0-40	18,2	1,0	0	1,0	1,20870128
40-200	16,8	1,0	40	14,2	6,1542009
			200	62,5	6,765122055
0-40	18,4	3,2	0	3,2	2,744658786
40-200	16,2	3,2	40	16,5	2,679414882
			200	63,1	3,724971229
0-40	16,9	1,0 (0,8)	0	1,0	0,888058296
40-200	15,1	1,0 (0,8)	40	12,9	0,636325236
			200	56,0	1,466471241
0-40	15,8	1,0	0	1,0	0,688866427
40-200	13,2	1,0	40	12,3	2,506327071
			200	54,6	4,143896598
0-200	30,0	0,0	0	0,0	1,833036799
			200	115,5	
0-200	32,5	0,0	0	0,0	1,921486352
			200	127,4	



Boring	monster nummer	diepte NAP [m...nap]	type proef	grond-soort	Cumax [kN/m2]	CU 5% [kN/m2]	CU 2% [kN/m2]	Sigam eff [kN/m2]
B01_dijk20_dp34_kruin	19CA	-3.8	dss	Veen Mineraal arm	38.2	29.8	15	37
B01_dijk20_dp34_kruin	19BA	-0.58	dss	Veen zw Kleilig	24.5	17	11.3	30.8
b01_dijk20_dp34_bin-berm	97AA	-2.21	dss	Veen mineraalarm	26.9	15	9.4	23.9
b01_dijk20_dp34_bin-berm	99AA	-4.24	dss	Veen mineraalarm	29.6	21.25	11.3	26.8
B01_dijk20_dp34_kruin	15DB	-0.1	CUAC	klei antropogeen	33.7	31.7	31.5	33
B01_dijk20_dp34_kruin	15BA	0.4	CUAC	klei antropogeen	32.9	32.6	28.7	31
B01_dijk20_dp34_kruin	13B	1.8	CUAC	klei antropogeen	18.5	17	15.2	15
B02_dijk23_dp64 binnber	119AA	-2.68	dss	Veen mineraalarm	24.5	18	11.3	30.6
B02_dijk23_dp64 binnber	121AA	-4.7	dss	Veen mineraalarm	28.8	19	12	29.4
B02_dijk23_dp64 kruin	2B	2.5	CUAC	klei antropogeen	14.4	11.9	10.1	10
B02_dijk23_dp64 kruin	4a	0.45	CUAC	klei antropogeen	51.4	36.8	29.5	21
B01_dijk28_dp63 kruin	55AA	-5.78	dss	veen mineraalarm	54.2	37	19	59.2
B02_dijk28_dp63 achterland	53AA	-5.52	dss	veen mineraalarm	17	12.4	7.5	19.5
B02_dijk28_dp63 kruin	51A	-1.9	CUAC	klei antropogeen	34.3	33.2	33.9	52
B02_dijk28_dp63 kruin	48B	0.5	CUAC	klei antropogeen	24.7	23.6	22.3	34
B02_dijk28_dp63 kruin	9D	0	CUAC	klei antropogeen				
B02_dijk28_dp63 kruin	46A	-0.65	CUAC	klei antropogeen				
B02_dijk28_dp63 kruin	46A	-6	CUAC	klei antropogeen				
B02_dijk28_dp63 kruin	55D	-6.5	CUAC	klei antropogeen				
B-01_dijk28_dp134_kruin	77BA	-5.17	dss	klei mat siltig sterk hu	49.5	30	15	60.7
B-01_dijk28_dp134_kruin	77BA	-7.18	dss	veen mineraalarm	54.2	40	23	63.6
B-01_dijk28_dp134_mid berm	89EA	-5.17	dss	veen mineraalarm	29.8	20	11.5	37.8
B-03_dijk28_dp134_achterl	108CA	-4.91	dss	Veen Mineraal arm	13	11.5	6	11.1
B-03_dijk28_dp134_achterl	107AA	-3.5	dss	Veen Mineraal arm	14	11	6	12
B-03_dijk28_dp134_achterl	105BA	-3.5	dss	Veen Mineraal arm	17.6	12	7.5	15.4
B02_dijk28_dp34_kruin	70b	1.92	CUAC	klei antropogeen	19.9	15.6	13.7	18
B02_dijk28_dp34_kruin	71 C	0.9	CUAC	klei antropogeen	23.4	21	19.8	42
B02_dijk28_dp34_kruin	74C	-2.4	CUAC	klei antropogeen	22.5	20.5	21.5	60



Stam: Antares (dij. 24, 25, 28 en 29)		Samiddige waarden				Sopervlaktieve waarden				Schaarwaarden				
Stamsoort	Aantal bomen sterkebeplant (n)	$\bar{y}$ (dijk 24 en 25 (noord) (km <sup>2</sup> )	$\bar{y}$ (dijk 26 en 29 (zuid) (km <sup>2</sup> )	$\bar{y}$ (km <sup>2</sup> )	spannings- trekset	$\alpha$ (graden)	$c^*$ (MPa)	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\tau$ (kN/m <sup>2</sup> )	spannings- trekset	$\alpha$ (graden)	$c^*$ (MPa)	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\tau$ (kN/m <sup>2</sup> )
KLEI antropogeen loof	19	15,4	14,8	308	0-40 40-200	26,0 24,5	6,8	0 40 200	3,3 3,3	0-40 40-200	24,6 21,3	3,3	0 40 200	3,3 84,2
KLEI antropogeen bomenboom		15,4	18,3	308	0-40 40-200	21,8 20,3	5,6	0 40 200	2,3 2,3	0-40 40-200	21,5 16,4	2,3	0 40 200	2,3 65,1
KLEI humeus koolstof	8	12,7	12,5	80,6	0-40 40-200	19,4 19,1	1,5	0 40 200	0,6 0,6	0-40 40-200	17,4 17,5	0,6	0 40 200	0,6 68,5
KLEI humeus water	6	12,2	11,7	73,3	0-40 40-200	20,0 19,7	1,6	0 40 200	0,6 0,6	0-40 40-200	15,6 14,7	0,6	0 40 200	0,6 53,8
KLEI zandig loof	12	16,8 (water) 17,3 (b) 17,6 (v) 15,9 (w)	16,7 (water) 17,3 (b) 17,6 (v) 15,9 (w)	3,7 28,8 116,5	0-40 40-200	30,3 29,3	3,7	0 40 200	1,7 1,7	0-40 40-200	28,2 25,1	1,7	0 40 200	1,7 98,1
KLEI slig kruin	4	14,5	15,1	5,0 21,7 109,5	0-40 40-200	29,5 27,1	5,0	0 40 200	0,7 0,7 0,7	0-40 40-200	26,5 23,1	0,7	0 40 200	0,7 71,1 93,9
KLEI slig voersand	10	15,0	14,8	96,3	0-40 40-200	24,9 24,4	4,2	0 40 200	2,4 2,4	0-40 40-200	21,8 20,4	2,4	0 40 200	2,4 19,4 77,7
KLEI slig schierland	11	14,4	14,1	86 32,9	0-40 40-200	25,7 24,1	3,3	0 40 200	1,1 1,1	0-40 40-200	22,4 20,9	1,1	0 40 200	1,1 17,6 78,6
KLEI slig water	7	15,2	14,3	1,6 20,9 96,3	0-40 40-200	25,3 25,2	1,6	0 40 200	0,6 0,6	0-40 40-200	20,3 19,4	0,6	0 40 200	0,6 15,4 71,8
VEEN, Hollandveen kruin	11	10,9	11,5	308 17,8	0-40 40-200	21,7 18,1	9,8	0 40 200	3,6 3,6	0-40 40-200	22,4 13,9	3,6	0 40 200	3,6 20,1 59,8
VEEN, Hollandveen bomenboom	13	10,1	10,7	5,7 68,1	0-40 40-200	18,3 17,1	5,7	0 40 200	3,1 3,1	0-40 40-200	17,5 14,3	3,1	0 40 200	3,1 15,7 56,5
VEEN, Hollandveen schierland/schierland	10	10,0 (b,7) 10,0	10,0	1,6 12,9 58,1	0-40 40-200	15,7 15,1	1,6	0 40 200	1,0 (0,7) 1,0 (0,7)	0-40 40-200	12,6 12,6	1,0 (0,7) 1,0 (0,7)	0 40 200	1,0 11,7 54,6
VEEN, Bospveen (grasland op VEEN, Hollandveen, schierland)	5	10,0 (b,7) 10,0 (b,7)	10,0 (b,7) 10,0 (b,7)	1,6 12,9 58,1	0-40 40-200	15,4 14,7	2,2	0 40 200	1,0 (0,7) 1,0 (0,7)	0-40 40-200	10,5 9,4	1,0 (0,7) 1,0 (0,7)	0 40 200	1,0 11,7 54,6
VEEN, Hollandveen water	12	10,0 (b,7) 10,0 (b,7)	10,0 (b,7) 10,0 (b,7)	1,6 12,9 58,1	0-40 40-200	14,4 15,2	1,2	0 40 200	1,0 (0,8) 1,0 (0,8)	0-40 40-200	11,8 12,8	1,0 (0,8) 1,0 (0,8)	0 40 200	1,0 11,7 54,6
ZAND, Cbbas	-	8,5 (driehoek) 11,9 (17,9)	8,5 (driehoek) 13,5 (na) (17,9)	0,0 12,8	0-200	31,6	0,0	0 200	0,0	0-200	30,0	0,0	0 200	0,0 115,5
ZAND, antropogeen	-	8,9 (driehoek) 20,0 (na) (17,3)	8,9 (driehoek) 20,0 (na) (17,3)	0,0 135,5	0-200	34,1	0,0	0 200	0,0	0-200	32,5	0,0	0 200	0,0 127,4

Hoorn - Edam Zuid (Hoorn - Scharndam, dijk 21 t/m 23)		
Grondsoort	Aantal proeven sterktebepaling (n)	$\gamma$ (kNm <sup>-3</sup> )
KLEI, antropogeen kruin	23	14,7
KLEI, antropogeen binnenberm/teen	4	14,3
KLEI, Duinkerke	6	14,0 (a) 14,5 (b) (kr) 12,7 (vw)
KLEI, Calais achterland	16	13,6
KLEI, Calais binnenberm/teen	31	14,1
KLEI, Calais kruin	5	14,4
KLEI, Calais voorland	9	13,9
KLEI, Calais water	11	13,7
VEEN, antropogeen kruin/ binnenberm/ teen	5	11,0
VEEN, Hollandveen kruin/ binnenberm/ teen		10,6
VEEN, Basisveen (gebaseerd op VEEN, Hollandveen, kruin, binnenberm, teen)	-	10,6
VEEN, Hollandveen voor-achterland	8	10,1
VEEN, Hollandveen water	6	10,0 (9,8)
ZAND, Calais	-	18,5 (droog) / 19,5 (nat) (17,5)
ZAND, antropogeen	-	18,0 (droog) / 20,0 (nat) (16,7)

Gemiddelde waarden					
spannings-traject	$\phi'$ [graden]	c' [kPa]	$\sigma$ [kNm <sup>-2</sup> ]	$\tau$ [kNm <sup>-2</sup> ]	
0-40	29,2	7,4	0	7,4	
40-200	27,9		40	29,8	
			200	114,5	
0-40	27,7	5,9	0	5,9	
40-200	24,1		40	27,0	
			200	93,5	
0-40	30,1	0,6	0	0,6	
40-200	26,9		40	23,7	
			200	104,9	
0-40	27,7	2,1	0	2,1	
40-200	26,1		40	23,1	
			200	101,6	
0-40	26,6	4,8	0	4,8	
40-200	25,9		40	24,8	
			200	102,4	
0-40	24,1	6,0	0	6,0	
40-200	23,5		40	23,9	
			200	93,6	
0-40	25,3	2,2	0	2,2	
40-200	24,7		40	21,2	
			200	94,6	
0-40	28,5	0,4	0	0,4	
40-200	27,4		40	22,1	
			200	105,1	
0-40	28,3	1,4	0	1,4	
40-200	22,6		40	23,0	
			200	89,5	
0-40	19,3	1,1	0	1,1	
40-200	18,5		40	15,1	
			200	68,6	
0-40	18,4	1,1	0	1,1	
40-200	18,5		40	14,4	
			200	68,0	
0-200	31,6	0,0	0	0,0	
			200	122,8	
0-200	34,1	0,0	0	0,0	
			200	135,5	

Representatieve waarden					
spannings-traject	$\phi'$ [graden]	c' [kPa]	$\sigma$ [kNm <sup>-2</sup> ]	$\tau$ [kNm <sup>-2</sup> ]	
0-40	28,2	4,5	0	4,5	
40-200	23,4		40	25,9	
			200	95,3	
0-40	26,3	0,7	0	0,7	
40-200	17,3		40	20,5	
			200	70,4	
0-40	21,3	0,0	0	0,0	
40-200	19,4		40	15,6	
			200	71,9	
0-40	23,7	0,5	0	0,5	
40-200	20,2		40	18,0	
			200	76,9	
0-40	25,0	2,9	0	2,9	
40-200	23,1		40	21,5	
			200	89,8	
0-40	22,6	3,0	0	3,0	
40-200	19,9		40	19,6	
			200	77,5	
0-40	22,3	1,1	0	1,1	
40-200	19,3		40	17,5	
			200	73,4	
0-40	22,9	0,0	0	0,0	
40-200	21,7		40	16,9	
			200	80,7	
0-40	22,4	1,0	0	1,0	
40-200	13,1		40	17,5	
			200	54,6	
0-40	16,3	1,0	0	1,0	
40-200	16,8		40	12,7	
			200	60,9	
0-40	15,0	1,0	0	1,0	
40-200	15,0		40	11,7	
			200	54,6	
0-200	30,0	0,0	0	0,0	
			200	115,5	
0-200	32,5	0,0	0	0,0	
			200	127,4	

Rekenwaarden					
spannings-traject	$\phi'$ [graden]	c' [kPa]	$\sigma$ [kNm <sup>-2</sup> ]	$\tau$ [kNm <sup>-2</sup> ]	
0-40	24,1	3,6	0	3,6	
40-200	19,9		40	21,2	
			200	79,3	
0-40	22,4	0,6	0	0,6	
40-200	14,6		40	17,1	
			200	58,7	
0-40	18,0	0,0	0	0,0	
40-200	16,3		40	13,0	
			200	59,9	
0-40	20,1	0,4	0	0,4	
40-200	17,1		40	15,0	
			200	64,1	
0-40	21,3	2,3	0	2,3	
40-200	19,6		40	17,8	
			200	74,8	
0-40	19,1	2,4	0	2,4	
40-200	16,8		40	16,3	
			200	64,5	
0-40	18,9	0,9	0	0,9	
40-200	16,2		40	14,6	
			200	61,2	
0-40	19,4	0,0	0	0,0	
40-200	18,4		40	14,1	
			200	67,3	
0-40	18,4 (19,3)	0,7 (0,0)	0	0,7 (0,0)	
40-200	11,6 (11,1)		40	14,0	
			200	45,3 (40,5)	
0-40	13,4 (13,6)	0,7 (0,5)	0	0,7 (0,5)	
40-200	13,5		40	10,2	
			200	48,7	
0-40	12,6	0,7 (0,0)	0	0,7 (0,0)	
40-200	12,6		40	9,6 (8,1)	
			200	45,3 (35,3)	
0-200	25,7	0,0	0	0,0	
			200	96,2	
0-200	28,0	0,0	0	0,0	
			200	106,2	

**Edeem - Amsteddam (dijk 24, 25, 26 en 28)**

Standsort	Streek	Streekomschrijving	Streekoppervlakte (m²)	Streekoppervlakte (ha)	Streekoppervlakte (km²)	Streekoppervlakte (m²)	Streekoppervlakte (ha)	Streekoppervlakte (km²)
RIE1, antropogeen totaal	10	15,4	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8
RIE1, antropogeen binnensysteem		15,4	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9
RIE1, bureauus kouw	14	13,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
RIE1, bureauus binnensysteem	8	12,7	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
RIE1, bureauus achterland	8	12,6	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
RIE1, bureauus voorland		11,9	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7
RIE1, bureauus water	6	12,2	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7
RIE1, zandig totaal	12	16,8 (dwaV) 17,3 (W) 17,6 (V) 15,9 (W)	16,4 (dwaV) 17,3 (B) 17,6 (V) 15,9 (W)	16,4 (dwaV) 17,3 (B) 17,6 (V) 15,9 (W)	16,4 (dwaV) 17,3 (B) 17,6 (V) 15,9 (W)	16,4 (dwaV) 17,3 (B) 17,6 (V) 15,9 (W)	16,4 (dwaV) 17,3 (B) 17,6 (V) 15,9 (W)	16,4 (dwaV) 17,3 (B) 17,6 (V) 15,9 (W)
RIE1, slig kouw	4	14,5	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1
RIE1, slig binnensysteem	10	15,0	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
RIE1, slig achterland	11	14,4	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1
RIE1, slig voorland		14,5	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
RIE1, slig water	7	15,2	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3
VEEN, Hollandse kouw	11	10,9	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
VEEN, Hollandse binnensysteem	13	10,1	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
VEEN, Hollandse achterland/achter- land	10	10,0 (B/V)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
VEEN, Basseven (geklasseerd op VEEN, Hollands/achterland)		10,0 (B/V)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
VEEN, Hollandse voorland	5	10,0 (B/V)	10,0 (B/V)	10,0 (B/V)	10,0 (B/V)	10,0 (B/V)	10,0 (B/V)	10,0 (B/V)
VEEN, Hollandse water	12	10,0 (B/V)	10,0 (B/V)	10,0 (B/V)	10,0 (B/V)	10,0 (B/V)	10,0 (B/V)	10,0 (B/V)
ZANQ, Cabais		13,5 (dwaV) / 13,5 (net) (17,9)						
ZANQ, antropogeen		13,0 (dwaV) / 20,0 (net) (17,3)						

Gemiddelde waarden			Representatieve waarden		
traject	[grazen]	[kPa]	traject	[grazen]	[kPa]
0-40	26,0	6,8	0-40	24,8	3,3
40-200	24,5		40-200	21,3	
0-40	30,3	6,9	0-40	19,2	3,2
40-200	19,0		40-200	17,6	
0-40	21,6	5,6	0-40	21,5	2,3
40-200	20,3		40-200	18,4	
0-40	19,4	1,5	0-40	17,4	0,8
40-200	19,1		40-200	17,5	
0-40	30,0	1,6	0-40	15,6	0,6
40-200	19,7		40-200	14,7	
0-40	30,1	3,7	0-40	28,2	1,7
40-200	29,3		40-200	25,1	
0-40	29,5	5,0	0-40	26,5	0,7
40-200	27,1		40-200	25,1	
0-40	24,9	4,2	0-40	21,6	2,4
40-200	24,4		40-200	20,4	
0-40	25,7	3,3	0-40	22,4	3,6
40-200	24,1		40-200	20,9	
0-40	25,8	1,6	0-40	20,3	0,6
40-200	25,2		40-200	19,4	
0-40	21,7	9,8	0-40	22,4	3,6
40-200	16,1		40-200	13,9	
0-40	18,3	5,7	0-40	17,5	3,1
40-200	17,1		40-200	14,3	
0-40	15,7	1,6	0-40	12,6	1,0 (0,7)
40-200	15,7		40-200	12,6	
0-40	15,4	2,2	0-40	10,5	1,0 (0,7)
40-200	14,7		40-200	9,4	
0-40	14,4	1,2	0-40	11,8	1,0 (0,6)
40-200	15,2		40-200	12,8	
0-200	31,6	0,0	0-200	30,0	0,0
0-200	34,1	0,0	0-200	32,5	0,0

Gemiddelde waarden			Representatieve waarden		
traject	[grazen]	[kPa]	traject	[grazen]	[kPa]
0-40	26,0	6,8	0-40	24,8	3,3
40-200	24,5		40-200	21,3	
0-40	30,3	6,9	0-40	19,2	3,2
40-200	19,0		40-200	17,6	
0-40	21,6	5,6	0-40	21,5	2,3
40-200	20,3		40-200	18,4	
0-40	19,4	1,5	0-40	17,4	0,8
40-200	19,1		40-200	17,5	
0-40	30,0	1,6	0-40	15,6	0,6
40-200	19,7		40-200	14,7	
0-40	30,1	3,7	0-40	28,2	1,7
40-200	29,3		40-200	25,1	
0-40	29,5	5,0	0-40	26,5	0,7
40-200	27,1		40-200	25,1	
0-40	24,9	4,2	0-40	21,6	2,4
40-200	24,4		40-200	20,4	
0-40	25,7	3,3	0-40	22,4	3,6
40-200	24,1		40-200	20,9	
0-40	25,8	1,6	0-40	20,3	0,6
40-200	25,2		40-200	19,4	
0-40	21,7	9,8	0-40	22,4	3,6
40-200	16,1		40-200	13,9	
0-40	18,3	5,7	0-40	17,5	3,1
40-200	17,1		40-200	14,3	
0-40	15,7	1,6	0-40	12,6	1,0 (0,7)
40-200	15,7		40-200	12,6	
0-40	15,4	2,2	0-40	10,5	1,0 (0,7)
40-200	14,7		40-200	9,4	
0-40	14,4	1,2	0-40	11,8	1,0 (0,6)
40-200	15,2		40-200	12,8	
0-200	31,6	0,0	0-200	30,0	0,0
0-200	34,1	0,0	0-200	32,5	0,0

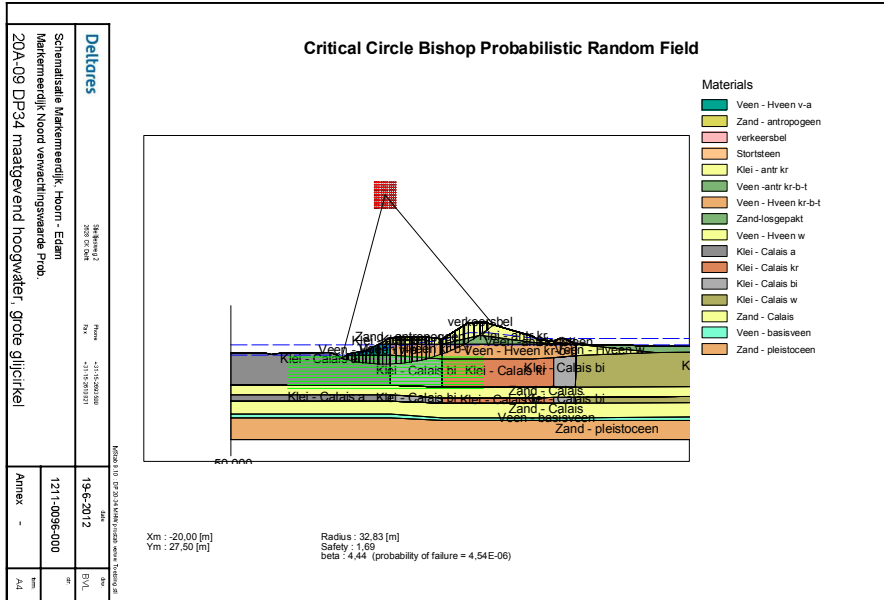
Gemiddelde waarden			Representatieve waarden		
traject	[grazen]	[kPa]	traject	[grazen]	[kPa]
0-40	26,0	6,8	0-40	24,8	3,3
40-200	24,5		40-200	21,3	
0-40	30,3	6,9	0-40	19,2	3,2
40-200	19,0		40-200	17,6	
0-40	21,6	5,6	0-40	21,5	2,3
40-200	20,3		40-200	18,4	
0-40	19,4	1,5	0-40	17,4	0,8
40-200	19,1		40-200	17,5	
0-40	30,0	1,6	0-40	15,6	0,6
40-200	19,7		40-200	14,7	
0-40	30,1	3,7	0-40	28,2	1,7
40-200	29,3		40-200	25,1	
0-40	29,5	5,0	0-40	26,5	0,7
40-200	27,1		40-200	25,1	
0-40	24,9	4,2	0-40	21,6	2,4
40-200	24,4		40-200	20,4	
0-40	25,7	3,3	0-40	22,4	3,6
40-200	24,1		40-200	20,9	
0-40	25,8	1,6	0-40	20,3	0,6
40-200	25,2		40-200	19,4	
0-40	21,7	9,8	0-40	22,4	3,6
40-200	16,1		40-200	13,9	
0-40	18,3	5,7	0-40	17,5	3,1
40-200	17,1		40-200	14,3	
0-40	15,7	1,6	0-40	12,6	1,0 (0,7)
40-200	15,7		40-200	12,6	
0-40	15,4	2,2	0-40	10,5	1,0 (0,7)
40-200	14,7		40-200	9,4	
0-40	14,4	1,2	0-40	11,8	1,0 (0,6)
40-200	15,2		40-200	12,8	
0-200	31,6	0,0	0-200	30,0	0,0
0-200	34,1	0,0	0-200	32,5	0,0

Gemiddelde waarden			Representatieve waarden		
traject	[grazen]	[kPa]	traject	[grazen]	[kPa]
0-40	26,0	6,8	0-40	24,8	3,3
40-200	24,5		40-200	21,3	
0-40	30,3	6,9	0-40	19,2	3,2
40-200	19,0		40-200	17,6	
0-40	21,6	5,6	0-40	21,5	2,3
40-200	20,3		40-200	18,4	
0-40	19,4	1,5	0-40	17,4	0,8
40-200	19,1		40-200	17,5	
0-40	30,0	1,6	0-40	15,6	0,6
40-200	19,7		40-200	14,7	
0-40	30,1	3,7	0-40	28,2	1,7
40-200	29,3		40-200	25,1	
0-40	29,5	5,0	0-40	26,5	0,7
40-200	27,1		40-200	25,1	
0-40	24,9	4,2	0-40	21,6	2,4
40-200	24,4		40-200	20,4	
0-40	25,7	3,3	0-40	22,4	3,6
40-200	24,1		40-200	20,9	
0-40	25,8	1,6	0-40	20,3	0,6
40-200	25,2		40-200	19,4	
0-40	21,7	9,8	0-40	22,4	3,6
40-200	16,1		40-200	13,9	
0-40	18,3	5,7	0-40	17,5	3,1
40-200	17,1		40-200	14,3	
0-40	15,7	1,6	0-40	12,6	1,0 (0,7)
40-200	15,7		40-200	12,6	
0-40	15,4	2,2	0-40	10,5	1,0 (0,7)
40-200	14,7		40-200	9,4	
0-40	14,4	1,2	0-40	11,8	1,0 (0,6)
40-200	15,2		40-200	12,8	
0-200	31,6	0,0	0-200	30,0	0,0
0-200	34,1	0,0	0-200	32,5	0,0

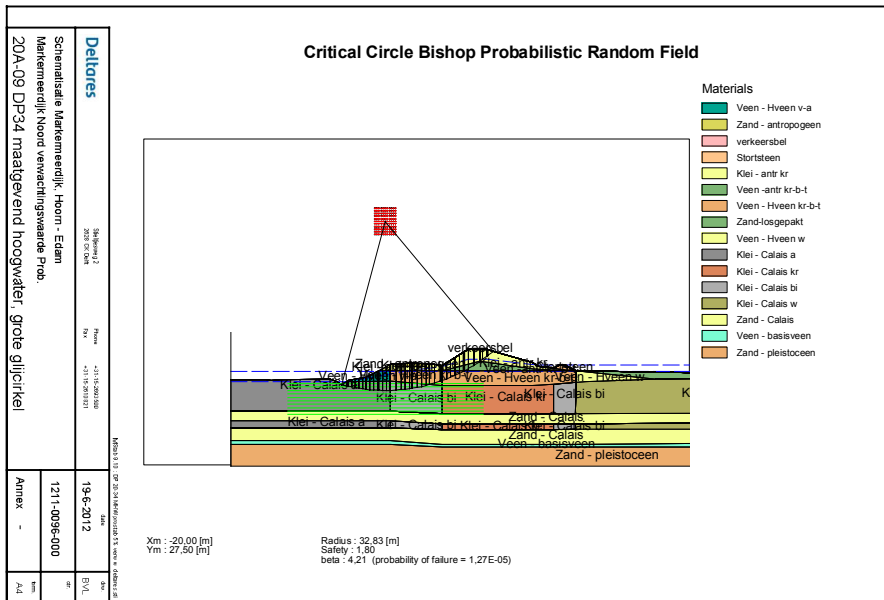
Gemiddelde waarden			Representatieve waarden		
traject	[grazen]	[kPa]	traject	[grazen]	[kPa]
0-40	26,0	6,8	0-40	24,8	3,3
40-200	24,5		40-200	21,3	
0-40	30,3	6,9	0-40	19,2	3,2
40-200	19,0		40-200	17,6	
0-40	21,6	5,6	0-40	21,5	2,3
40-200	20,3		40-200	18,4	
0-40	19,4	1,5	0-40	17,4	0,8
40-200	19,1		40-200	17,5	
0-40	30,0	1,6	0-40	15,6	0,6
40-200	19,7		40-200	14,7	
0-40	30,1	3,7	0-40	28,2	1,7
40-200	29,3		40-200	25,1	
0-40	29,5	5,0	0-40	26,5	0,7
40-200	27,1		40-200	25,1	
0-40	24,9	4,2	0-40	21,6	

## I Glijcirkels

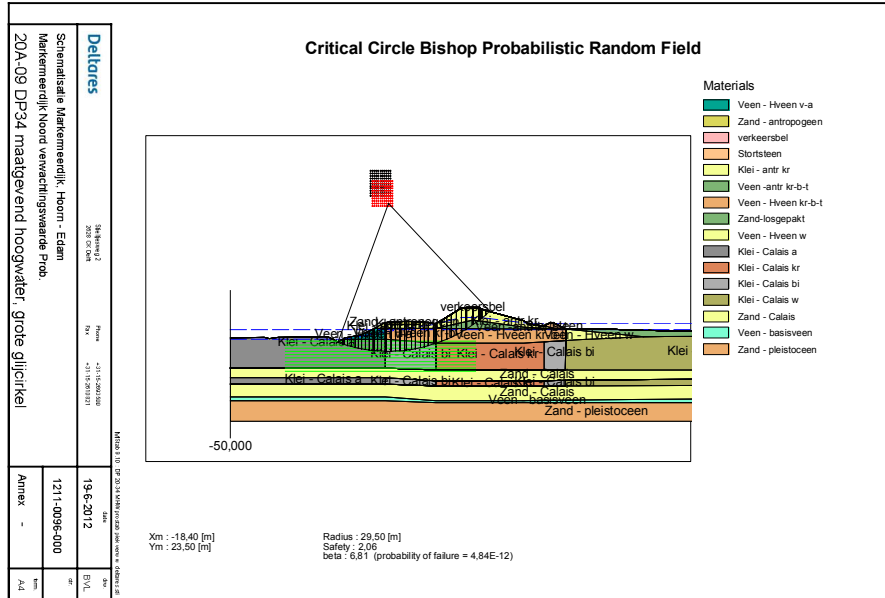
## 20-34 proevenverzameling MHW



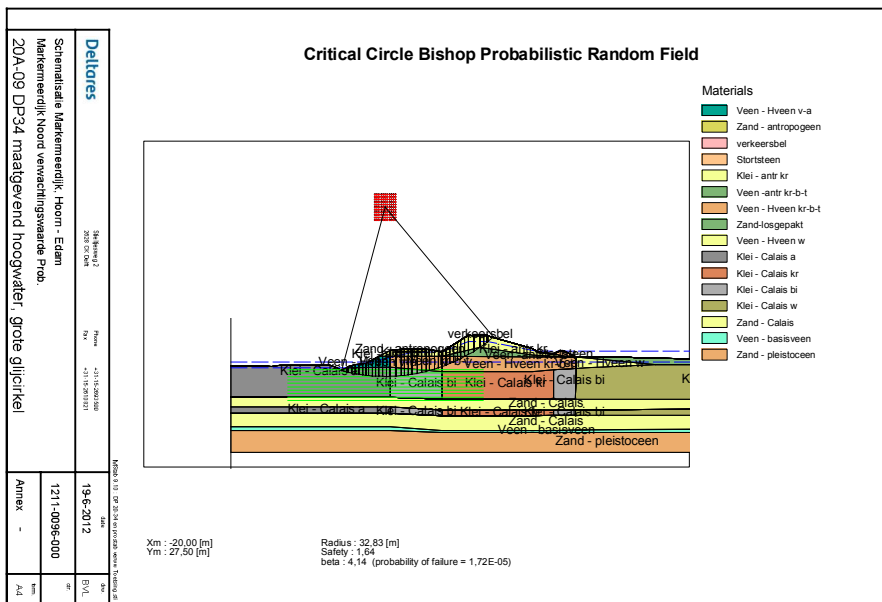
## 20-34 aangepaste parameters 5% rekwaarde



## 20-34 aangepaste parameters piek waarde MHW

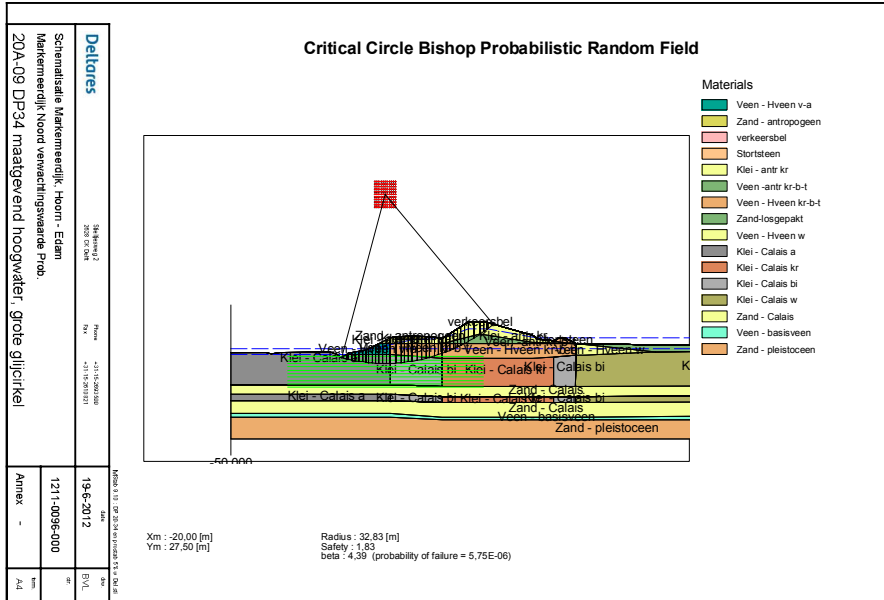


## 20-34 proevenverzameling Extreme neerslag

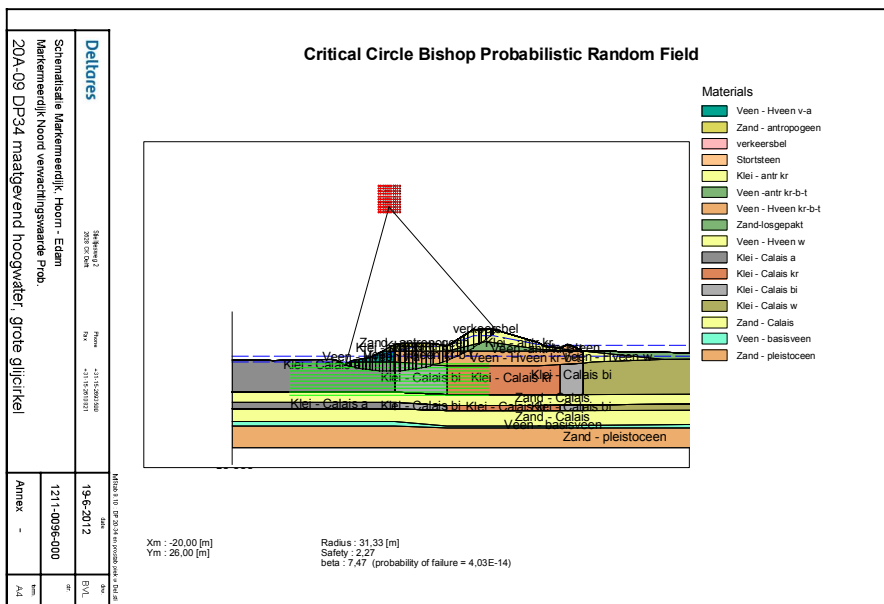




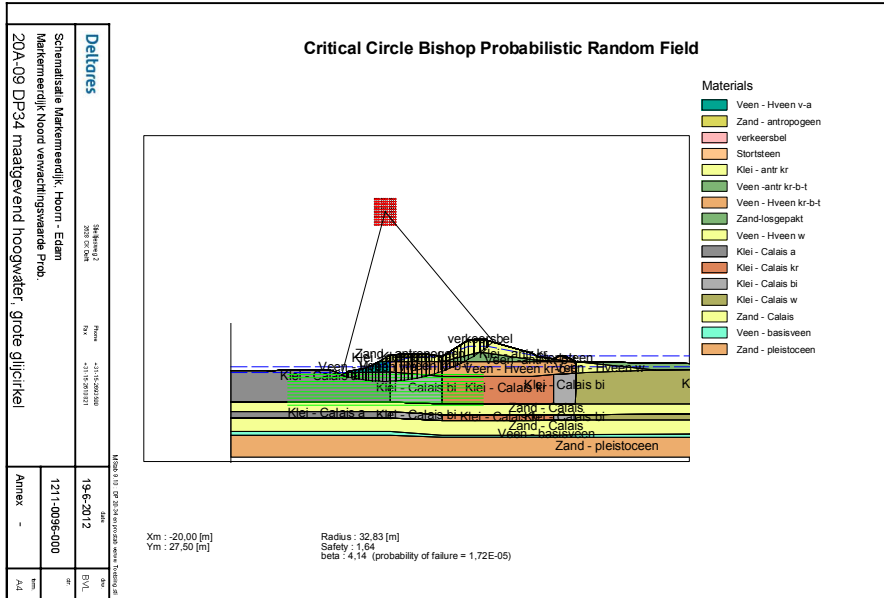
20-34 aangepaste parameters 5% rek waarde Extreme neerslag



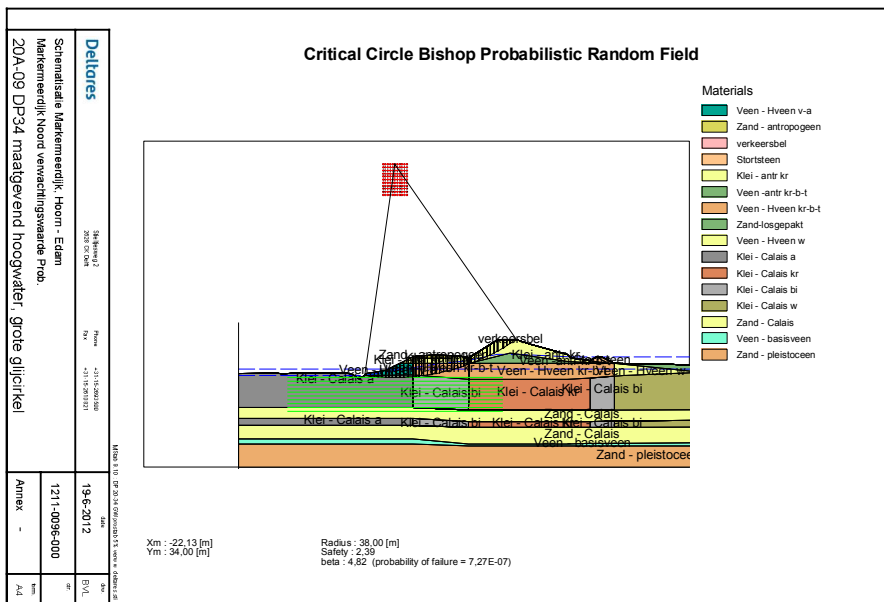
20-34 aangepaste parameters 5% rek waarde Extreme neerslag



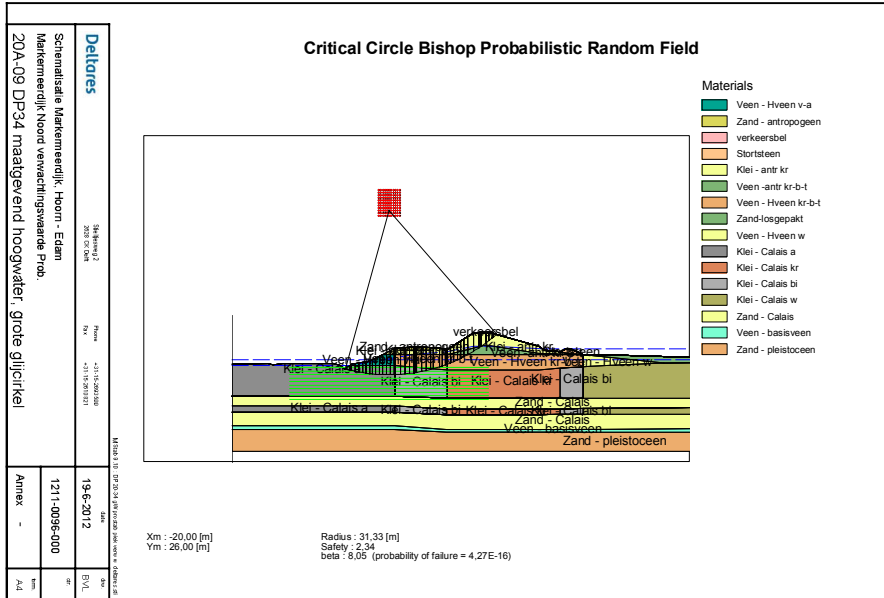
## 20-34 proevenverzameling Gemiddelde waterstand



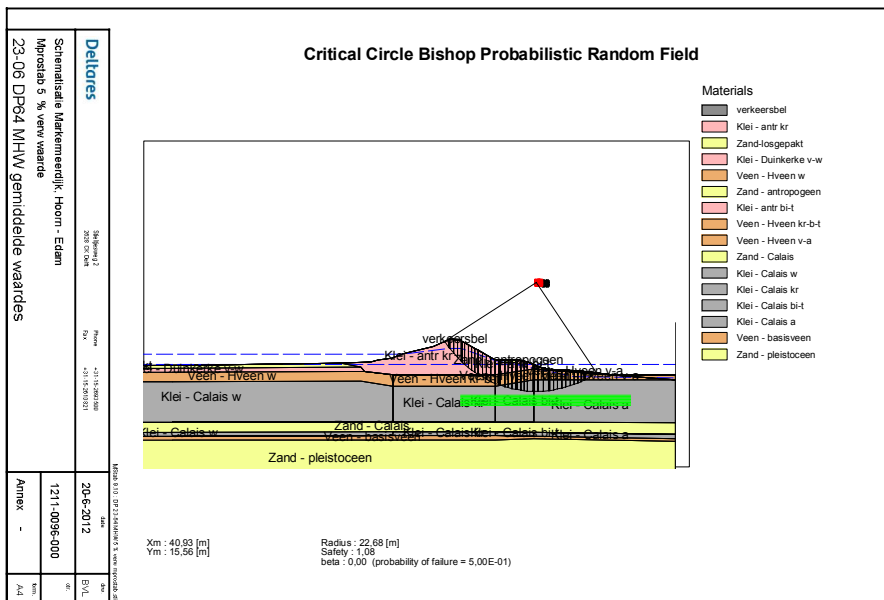
## 20-34 aangepaste parameters 5% rek waarde Gemiddelde waterstand



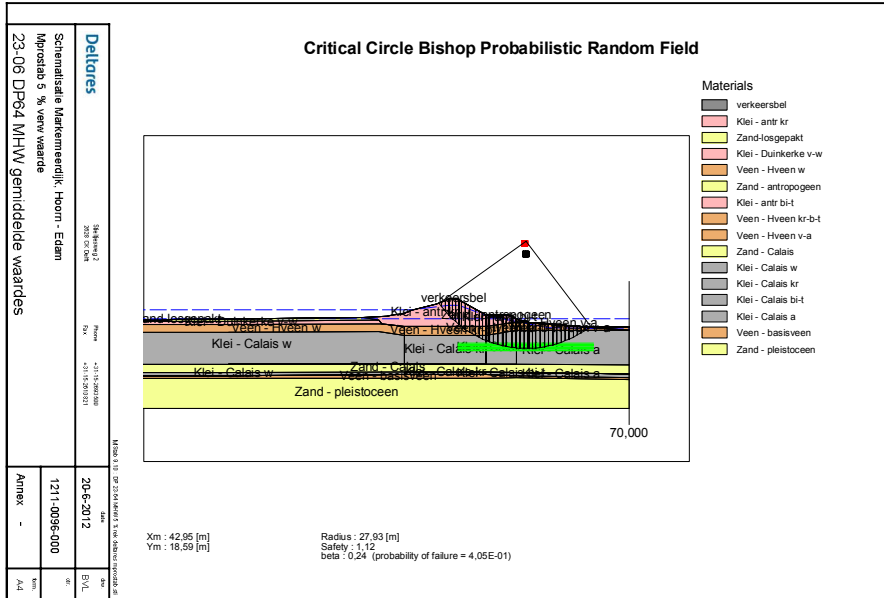
## 20-34 aangepaste parameters piek rek waarde Gemiddelde waterstand



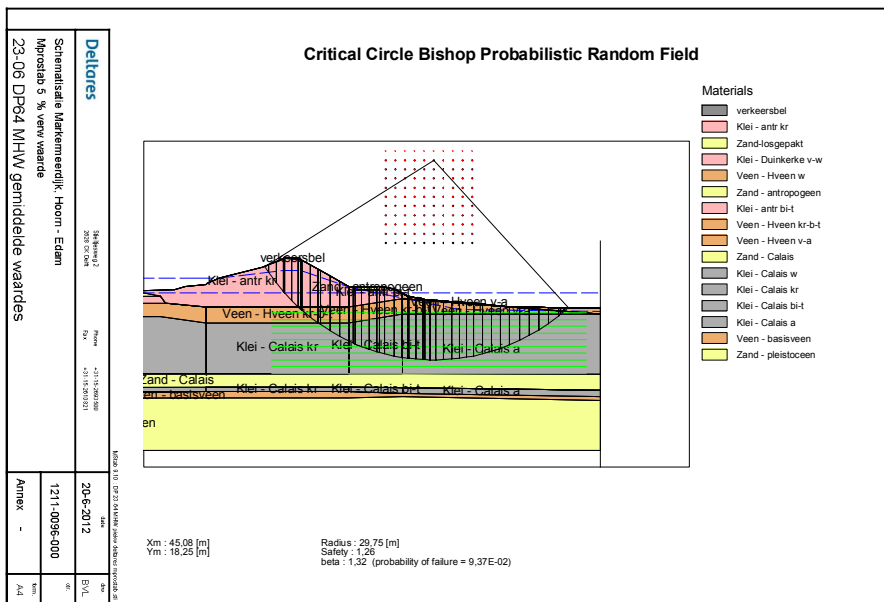
## 23-64 proevenverzameling MHW



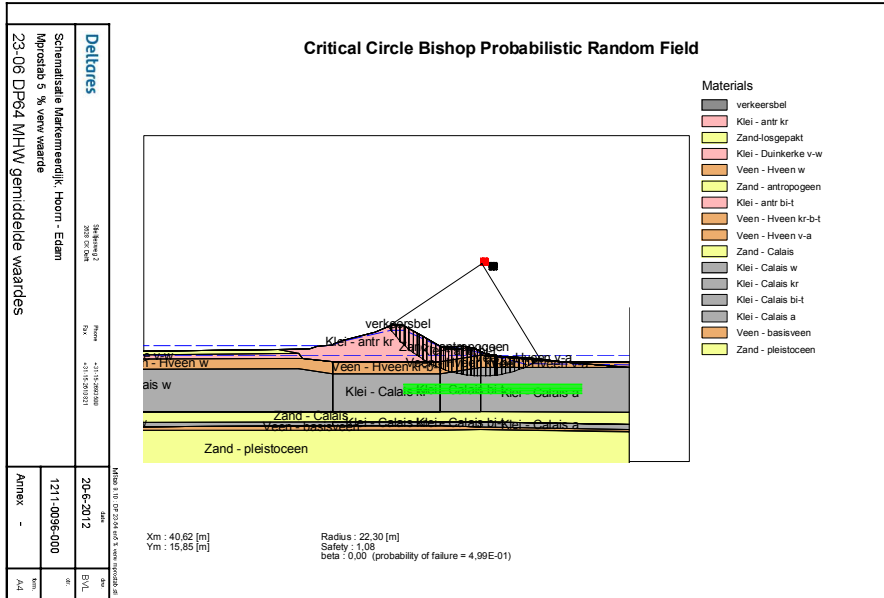
## 23-64 aangepaste parameters 5 rek MHW



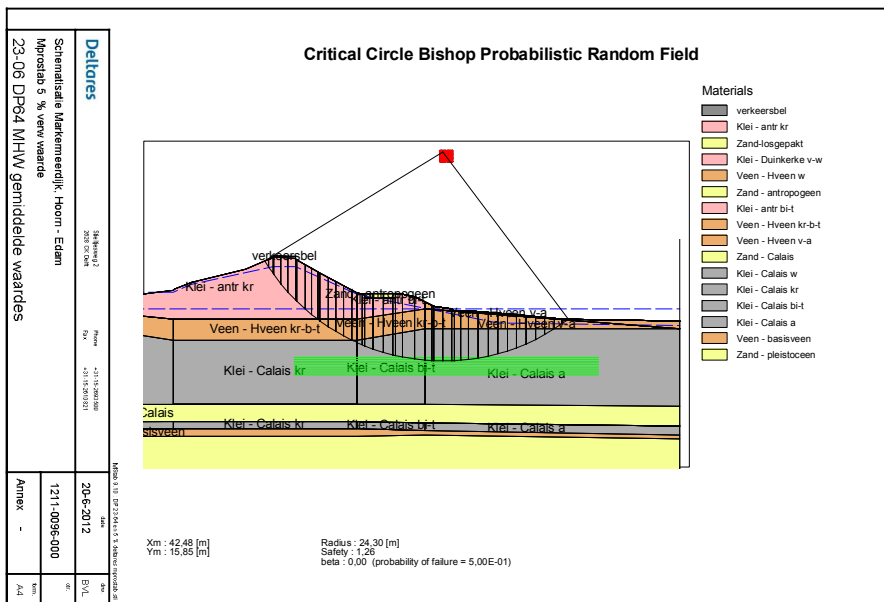
## 23-64 Aangepaste Parameters piekwaarde MHW



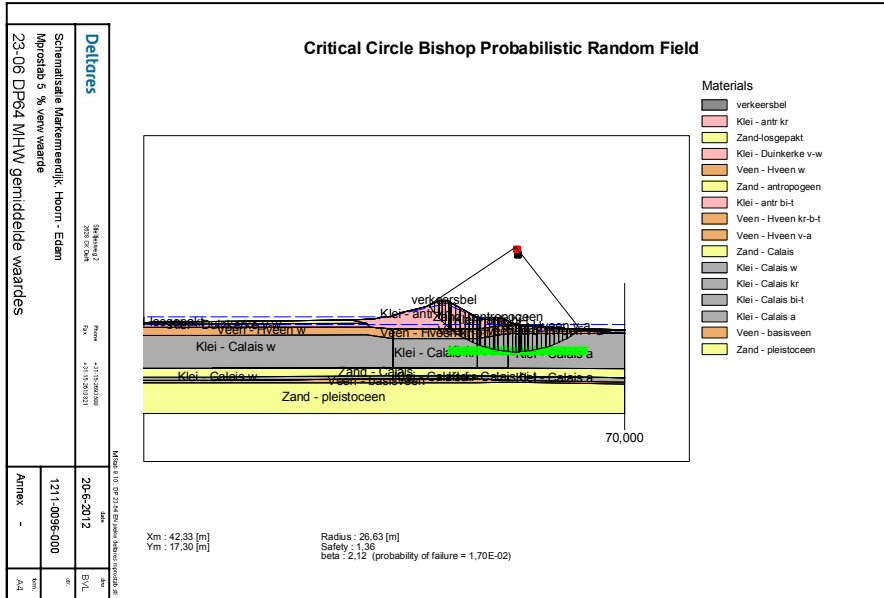
### 23-64 proevenverzameling extreme neerslag



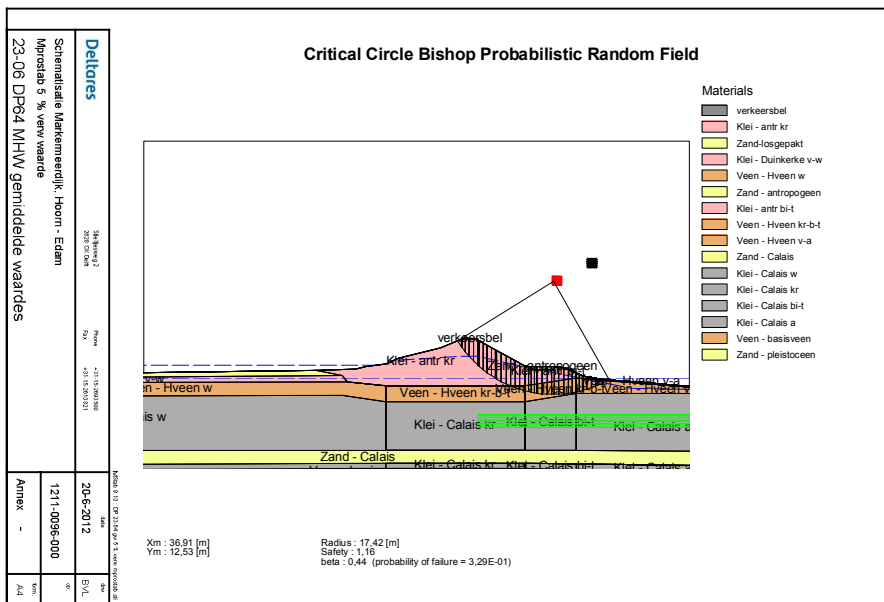
### 23-64 aangepaste parameters 5 rek extreme neerslag



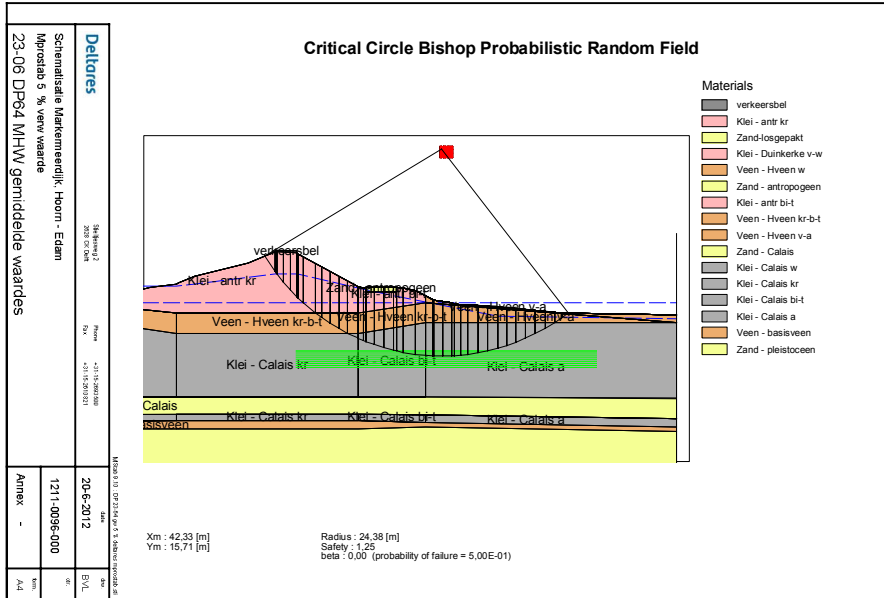
## 23-64 Aangepaste Parameters piekwaarde extreme neerslag



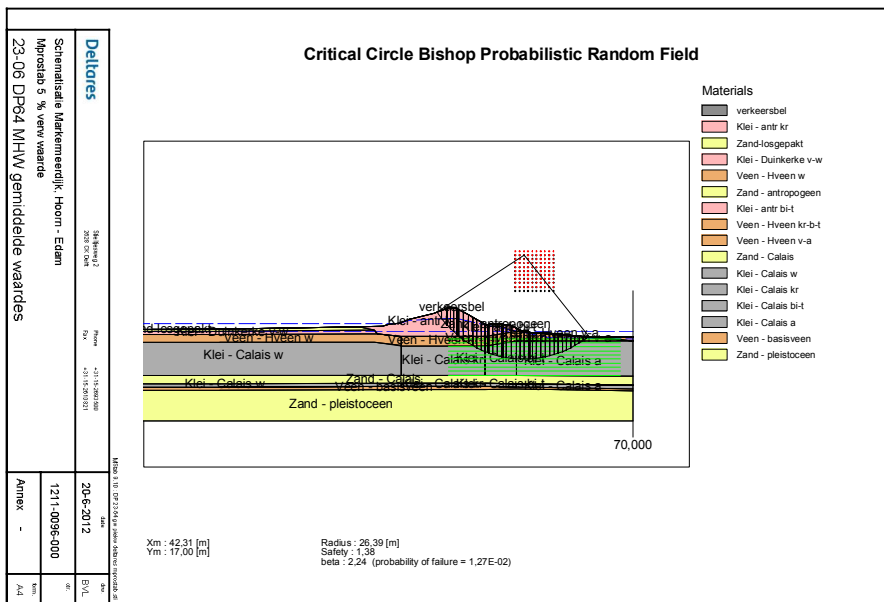
## 23-64 proevenverzameling Gemiddelde waterstand



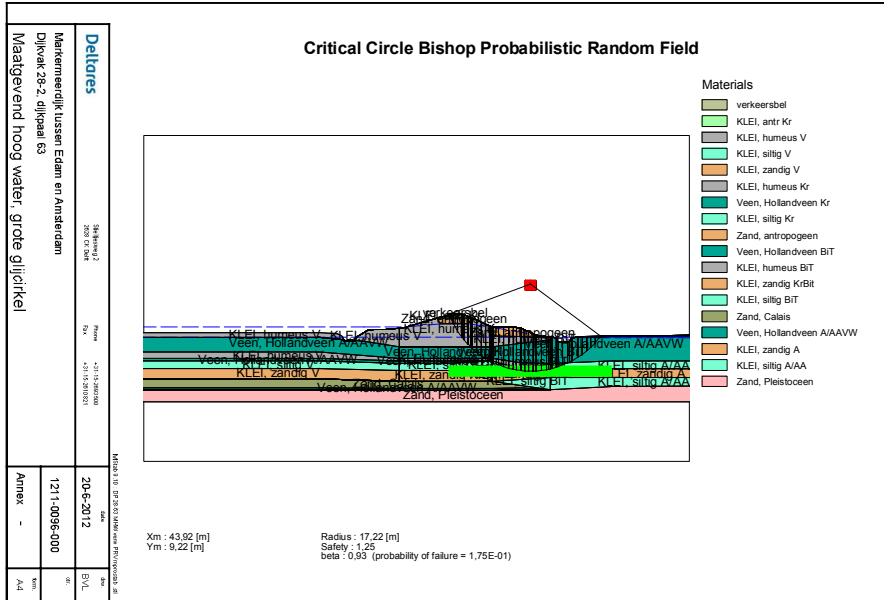
## 23-64 aangepaste parameters 5 rek Gemiddelde waterstand



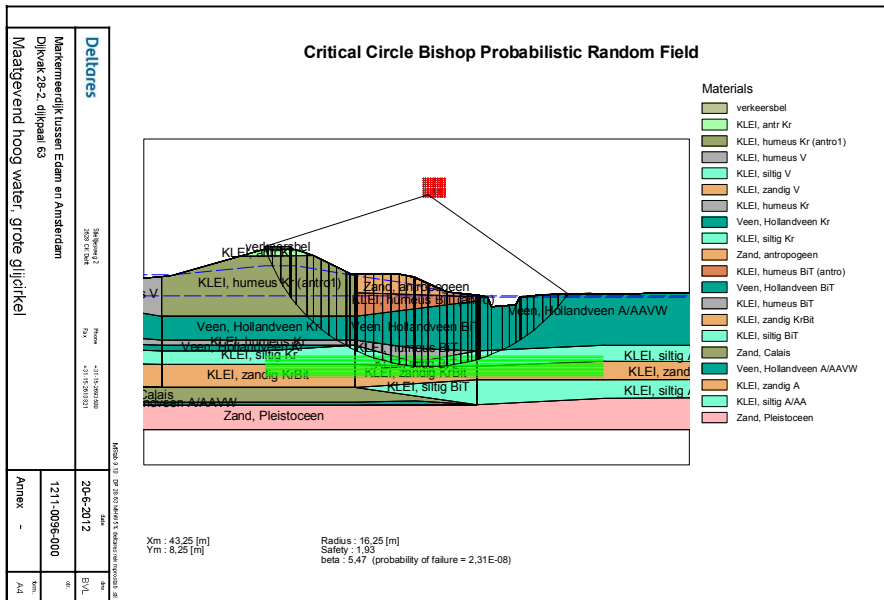
## 23-64 Aangepaste Parameters piekwaarde Gemiddelde waterstand



## 28-63 proevenverzameling MHW

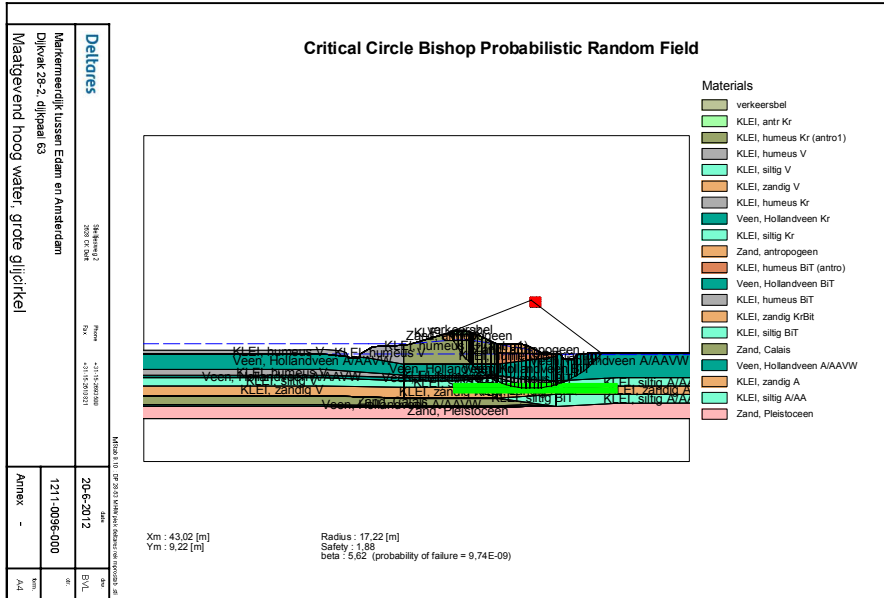


## 28-63 aangepaste parameters 5 rek MHW

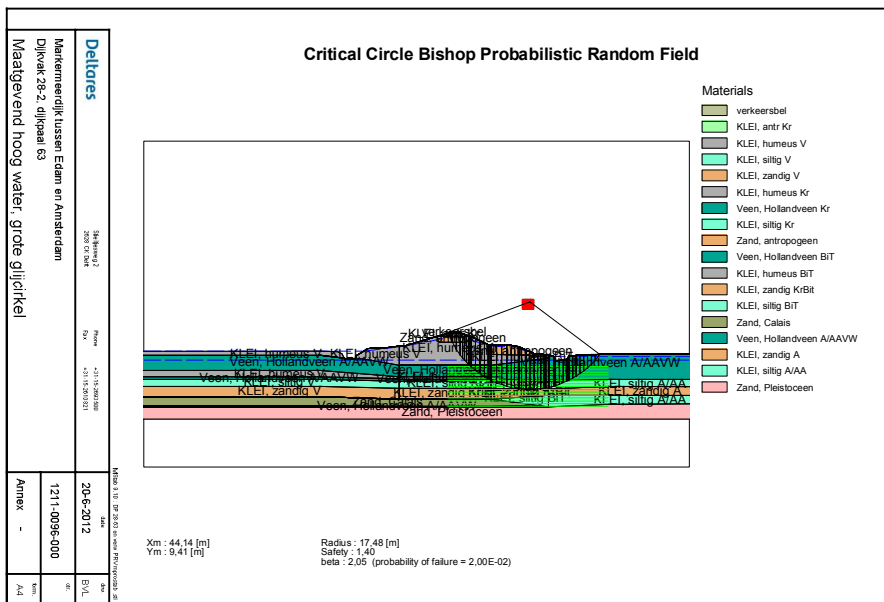




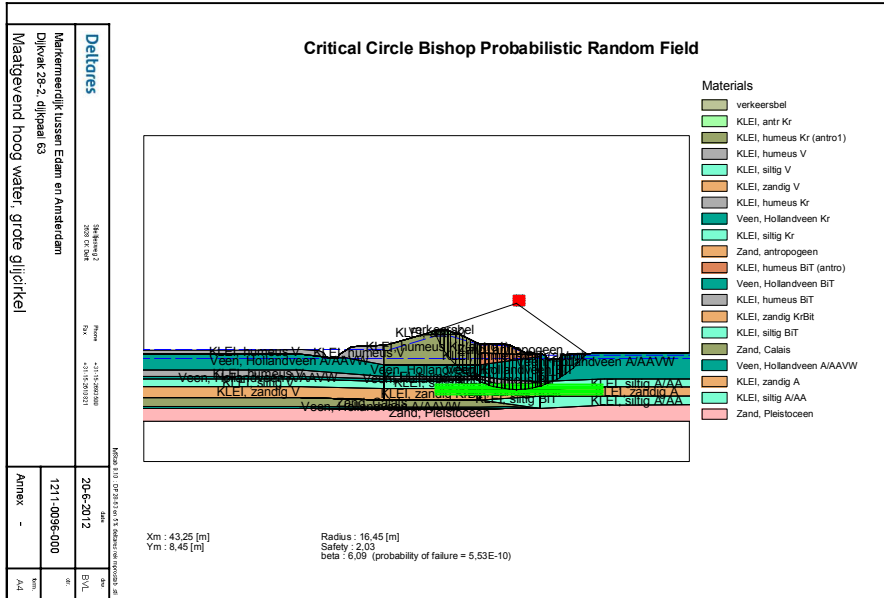
## 28-63 Aangepaste Parameters piekwaarde MHW



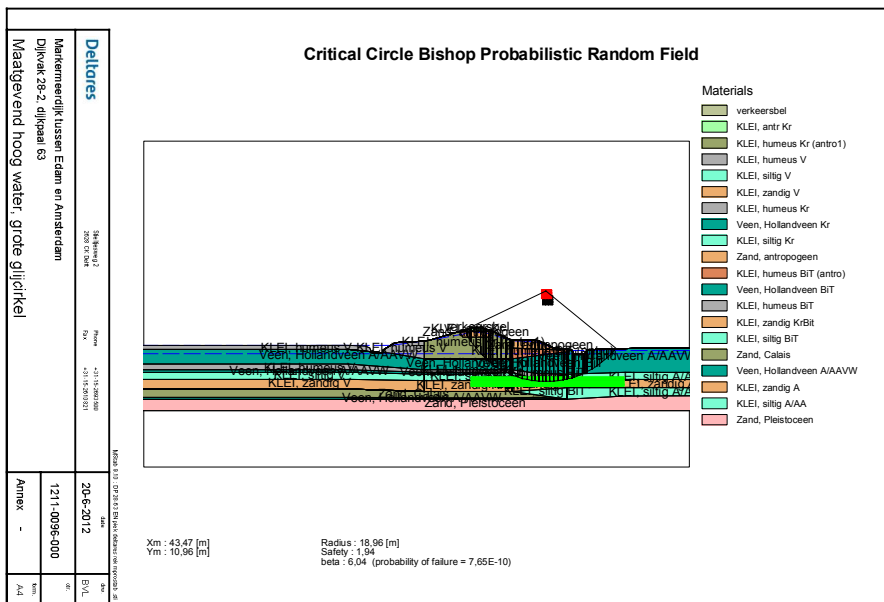
## 28-63 proevenverzameling extreme neerslag



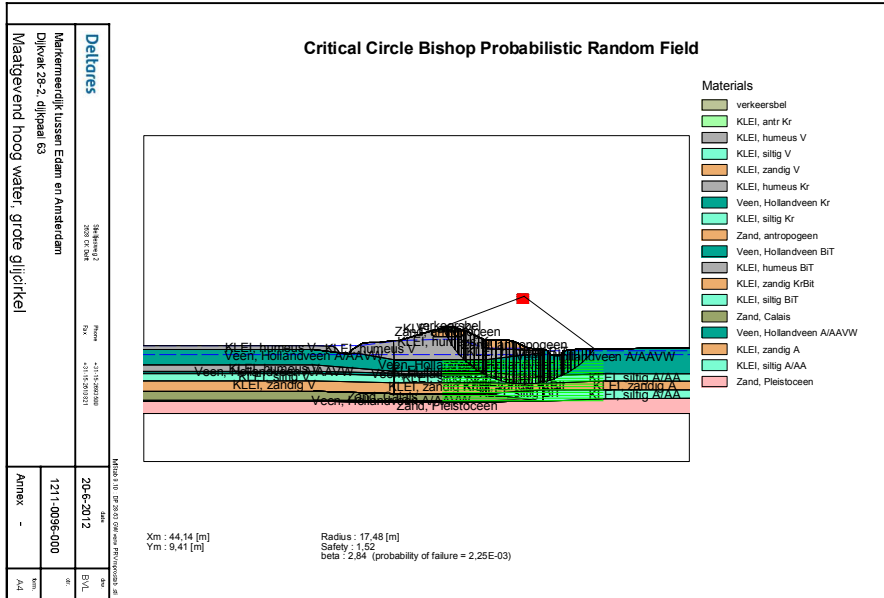
## 28-63 aangepaste parameters 5 rek extreme neerslag



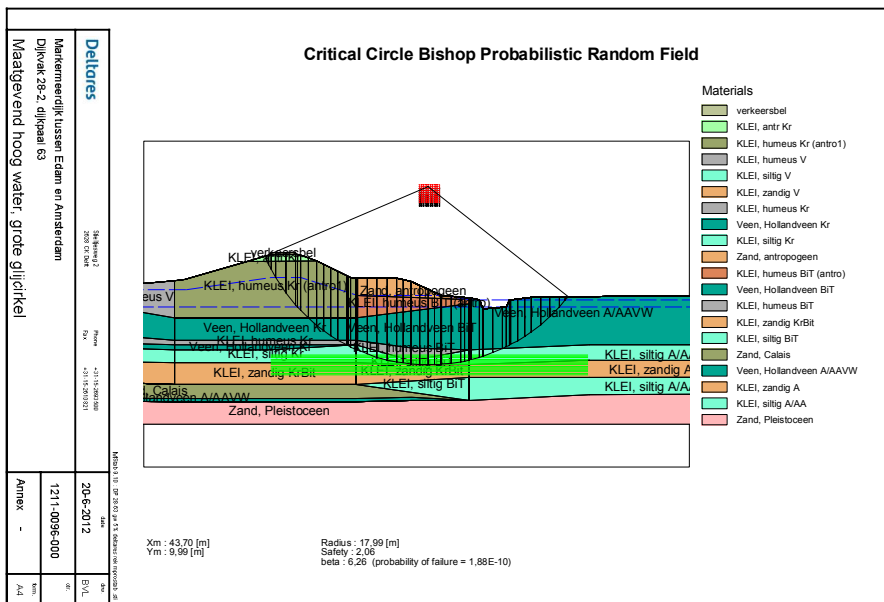
## 28-63 Aangepaste Parameters piekwaarde extreme neerslag



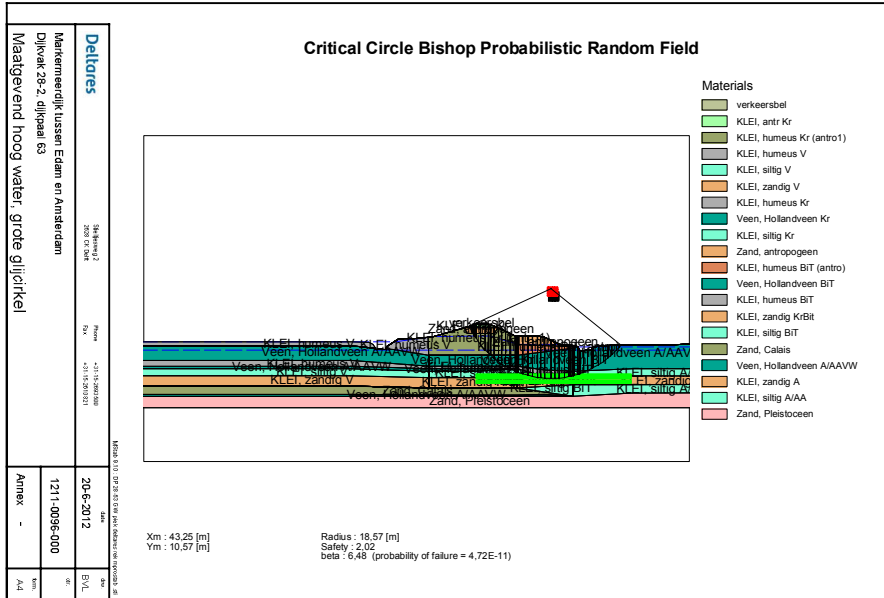
## 28-63 proevenverzameling Gemiddelde waterstand



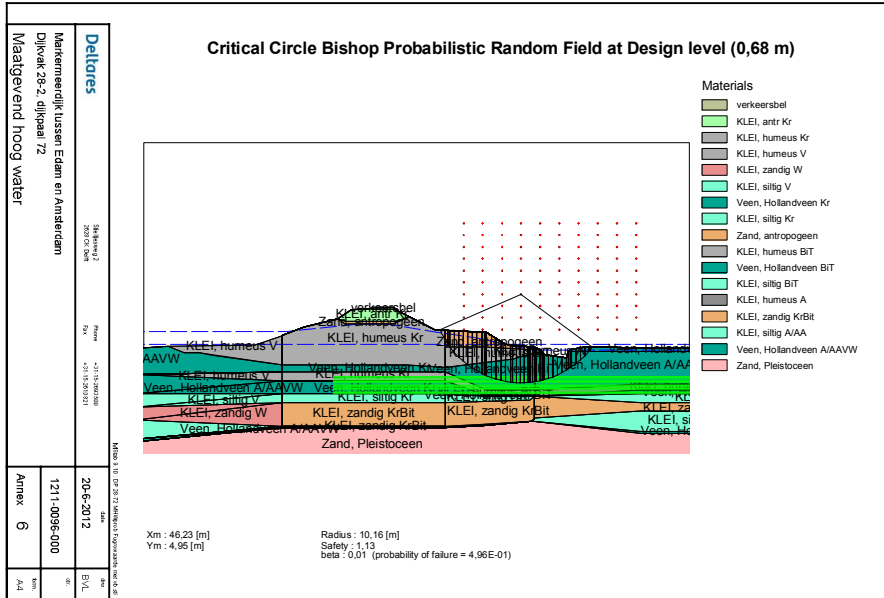
## 28-63 aangepaste parameters 5 rek Gemiddelde waterstand



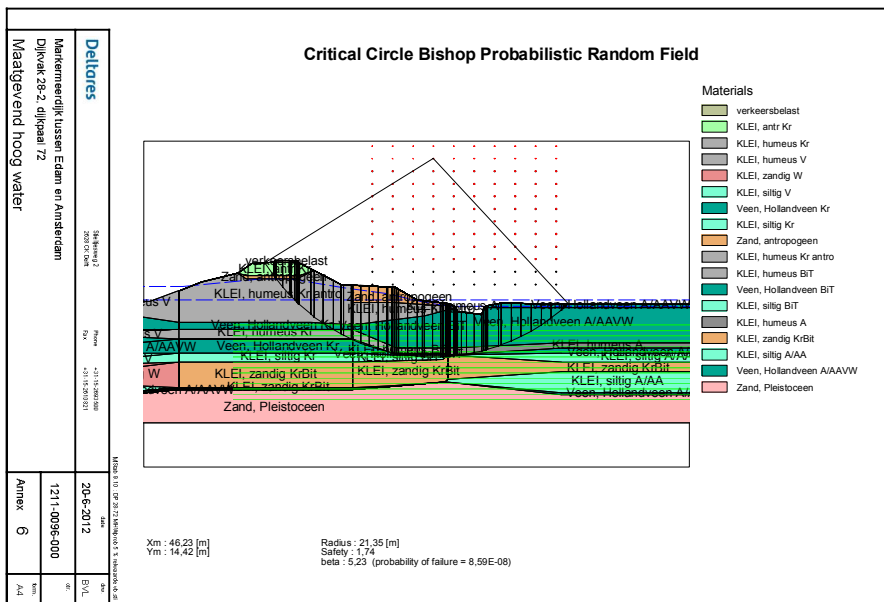
## 28-63 Aangepaste Parameters piekwaarde Gemiddelde waterstand



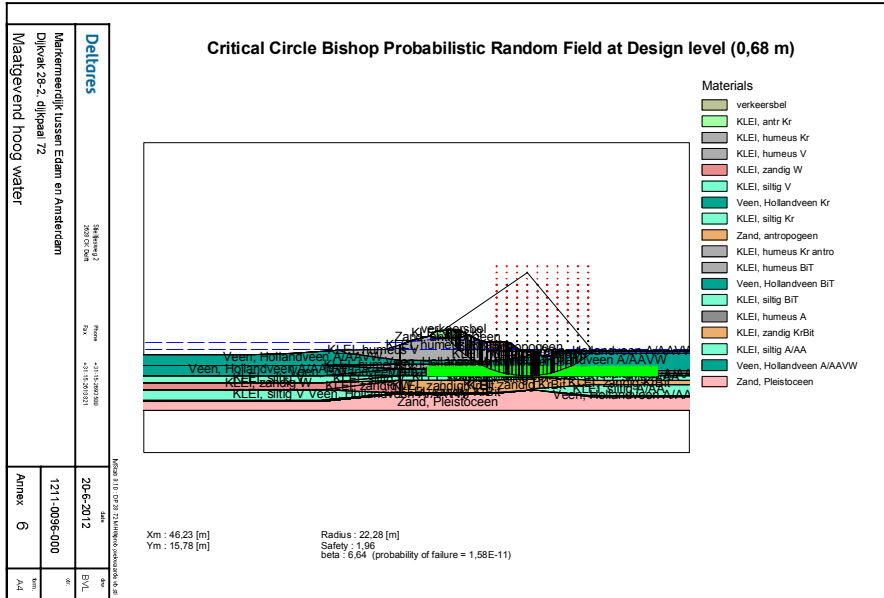
## 28-72 proevenverzameling MHW



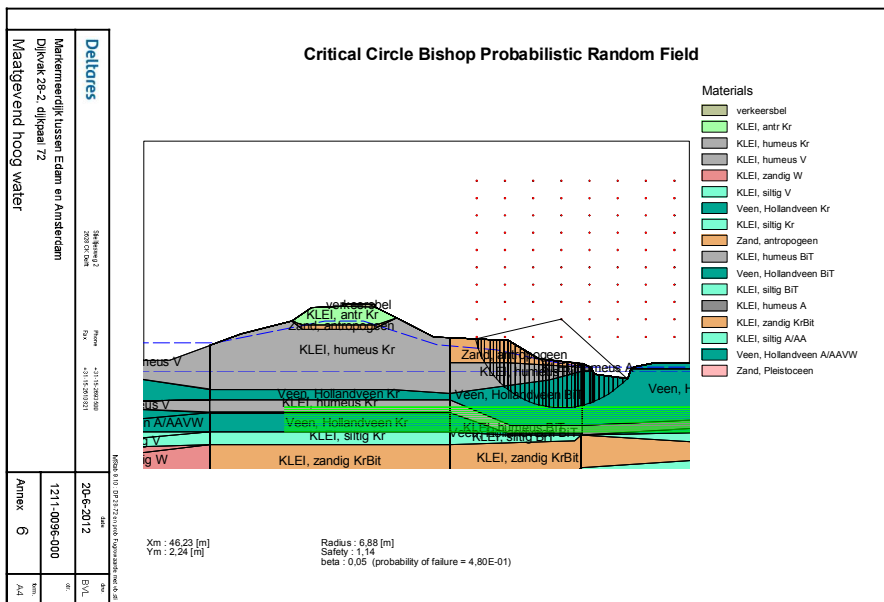
## 28-72 aangepaste parameters 5 rek MHW



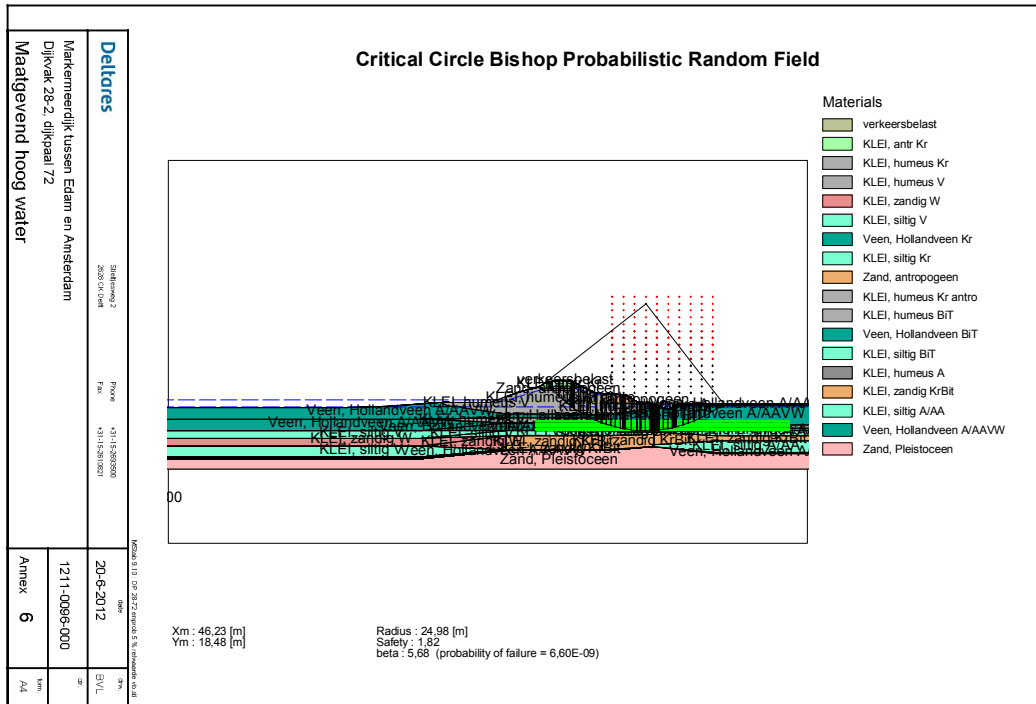
## 28-72 Aangepaste Parameters piekwaarde MHW



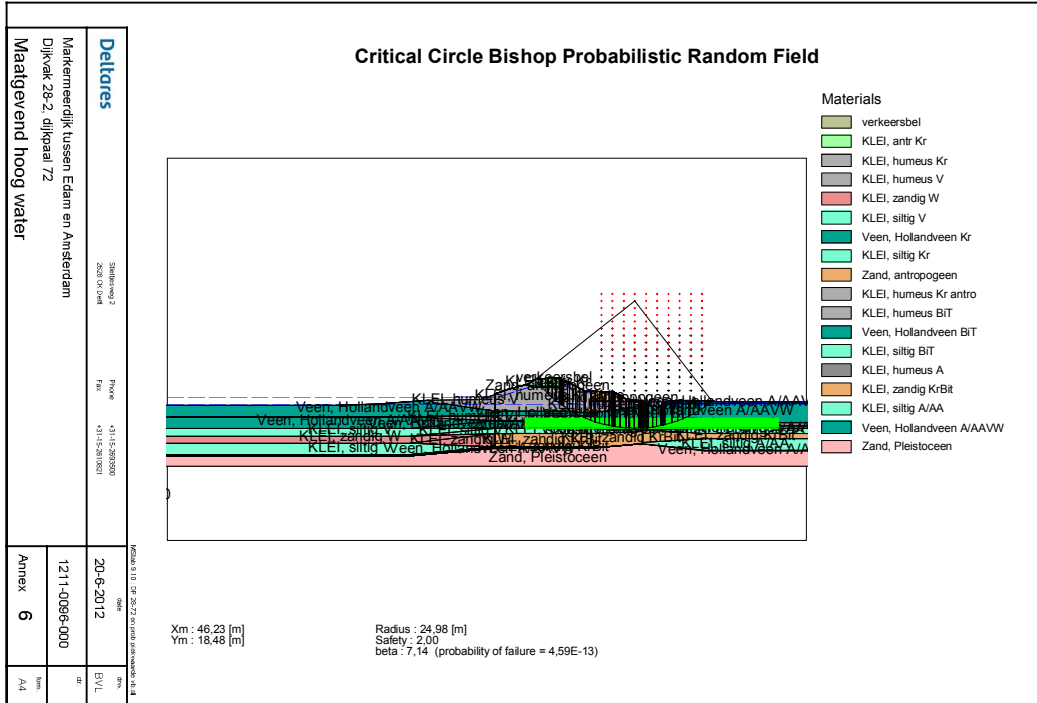
## 28-72 proevenverzameling extreme neerslag



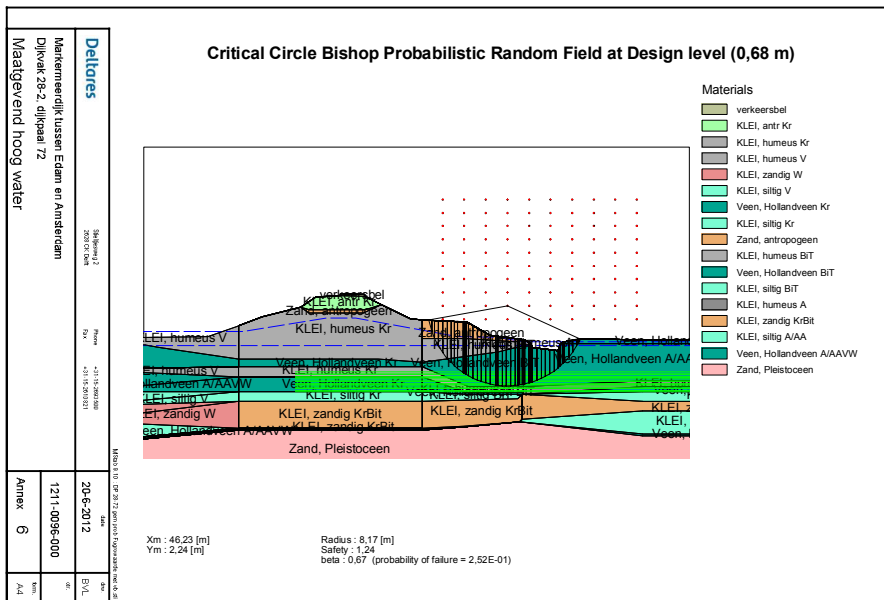
## 28-72 aangepaste parameters 5 rek extreme neerslag



## 28-72 Aangepaste Parameters piekwaarde extreme neerslag



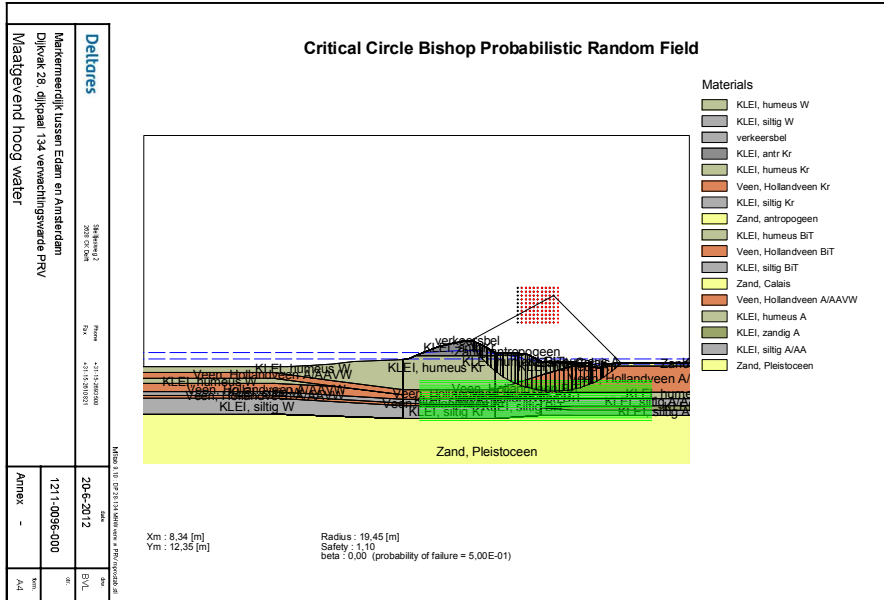
## 28-72 proevenverzameling Gemiddelde waterstand



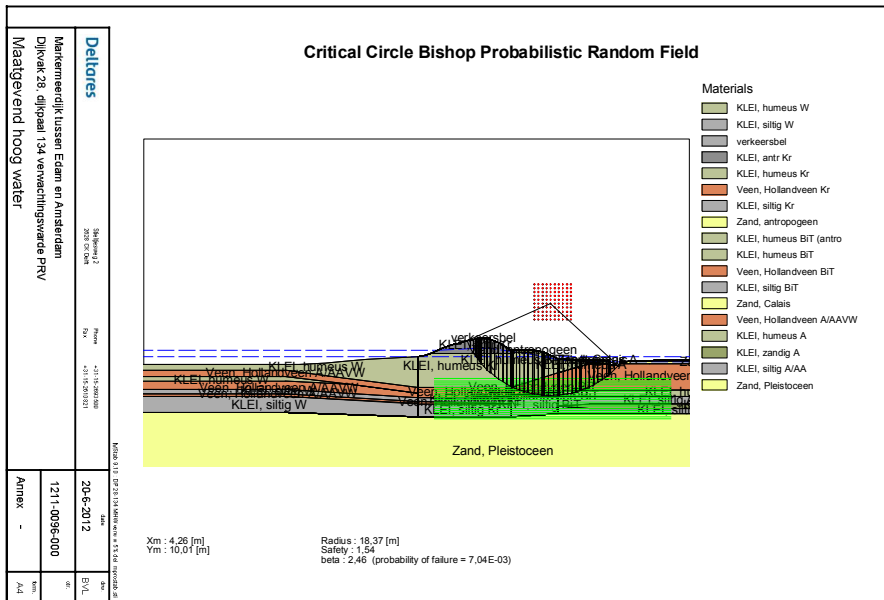




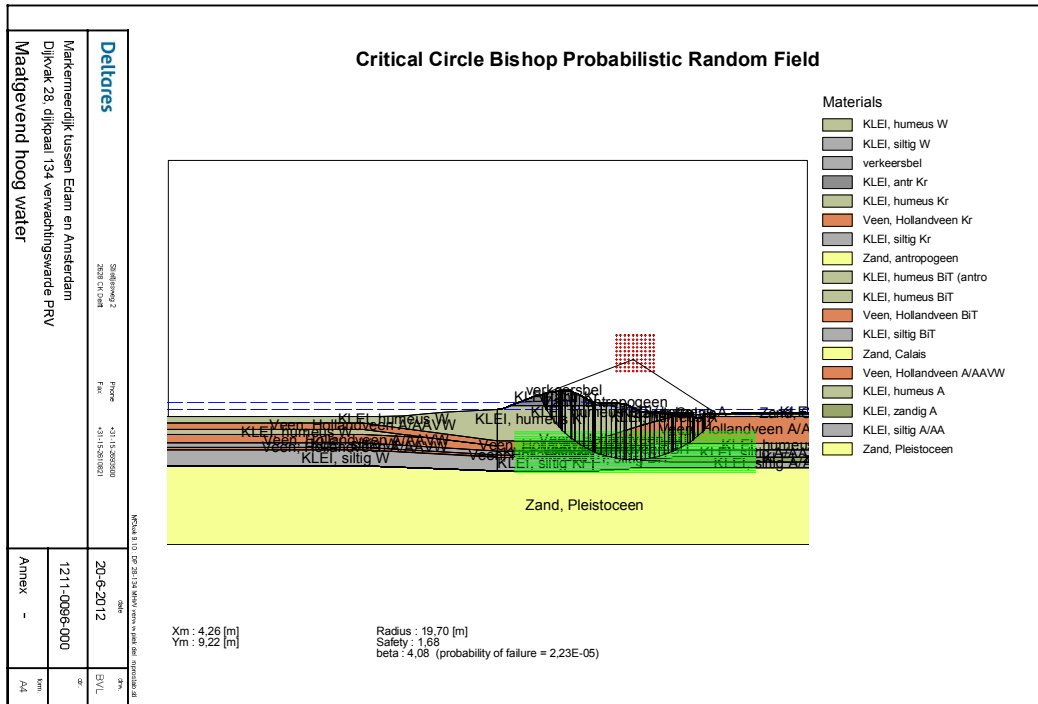
## 28-134 proevenverzameling MHW



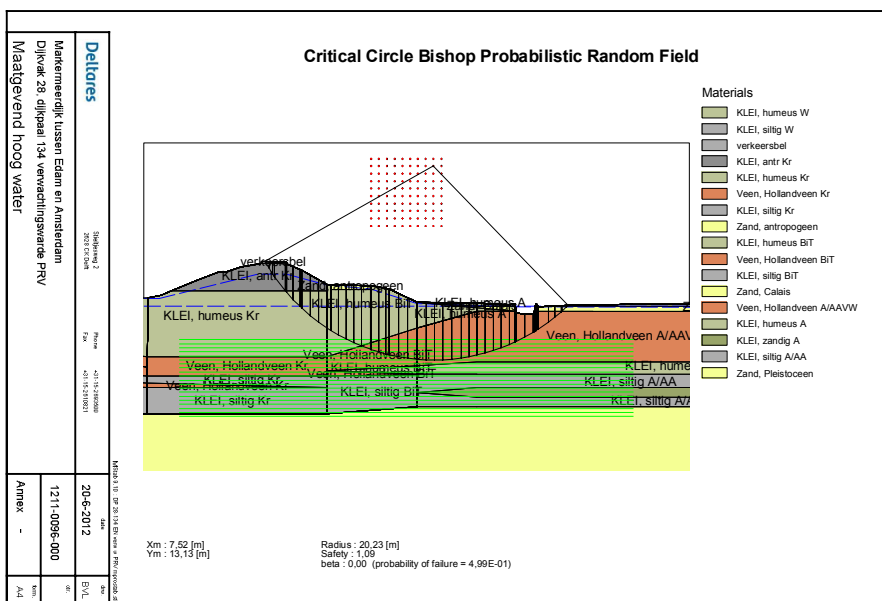
## 28-134 aangepaste parameters 5 rek MHW



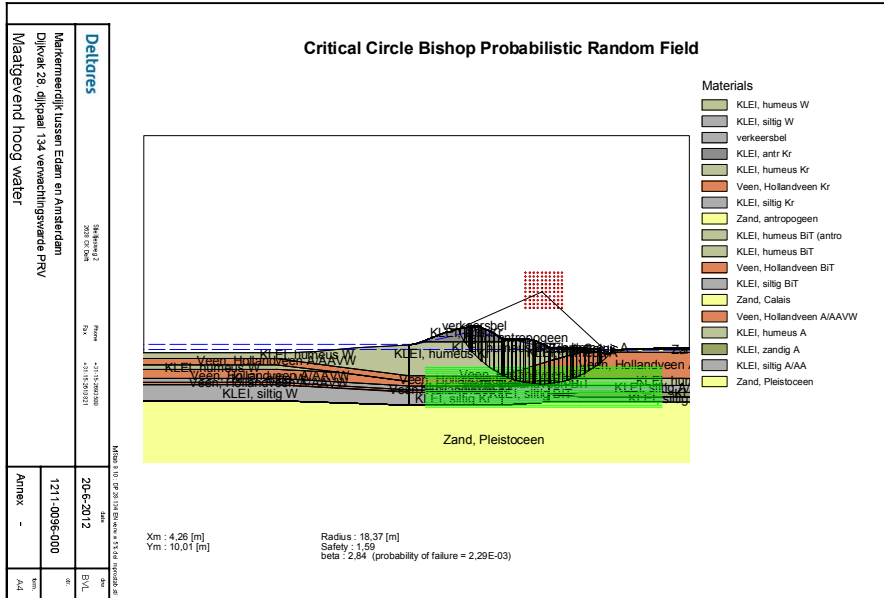
## 28-134 Aangepaste Parameters piekwaarde MHW



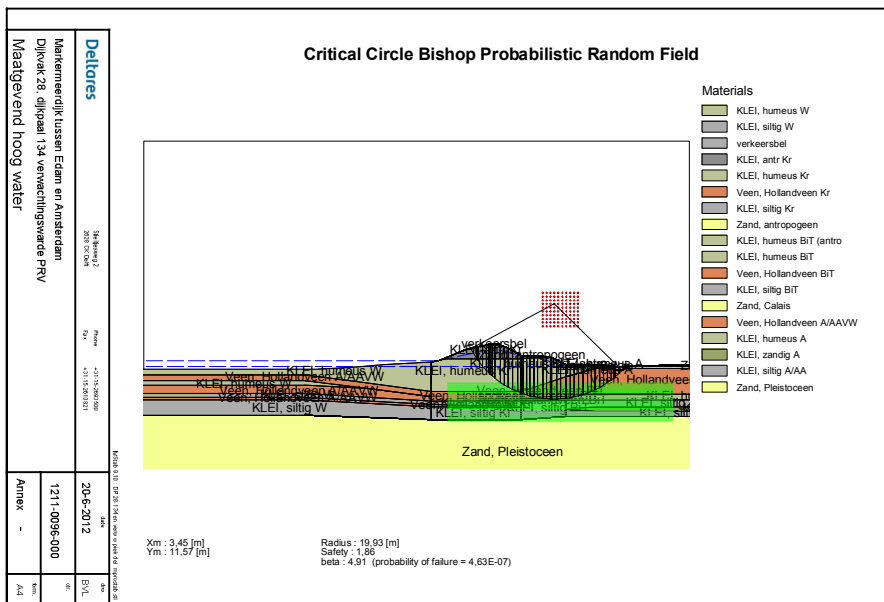
## 28-134 proevenverzameling extreme neerslag



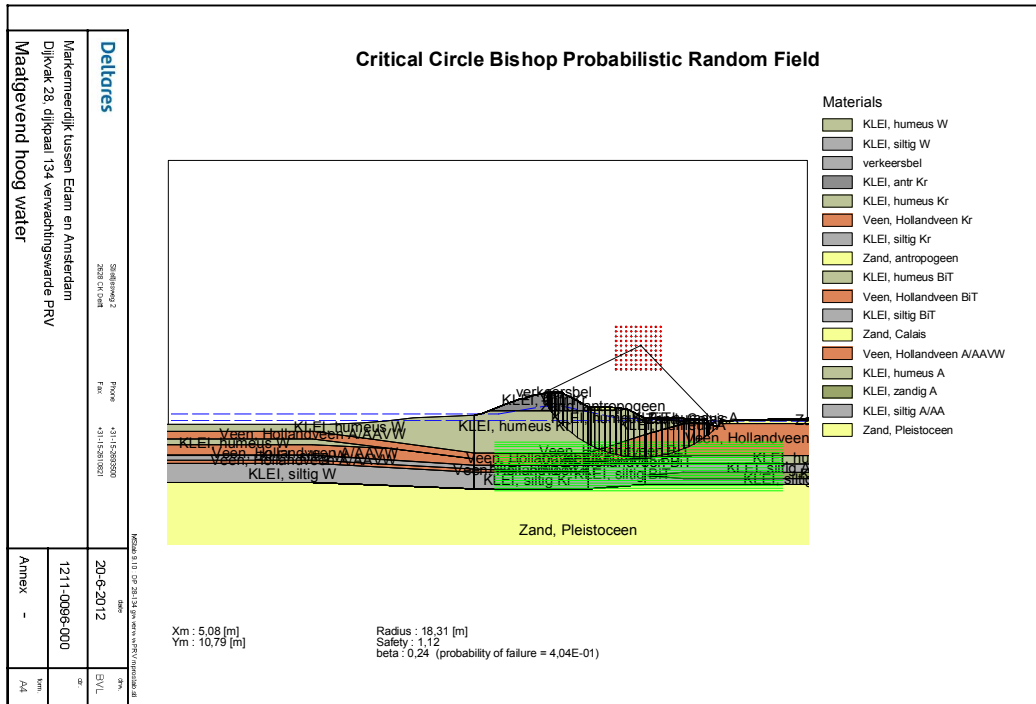
## 28-134 aangepaste parameters 5 rek extreme neerslag



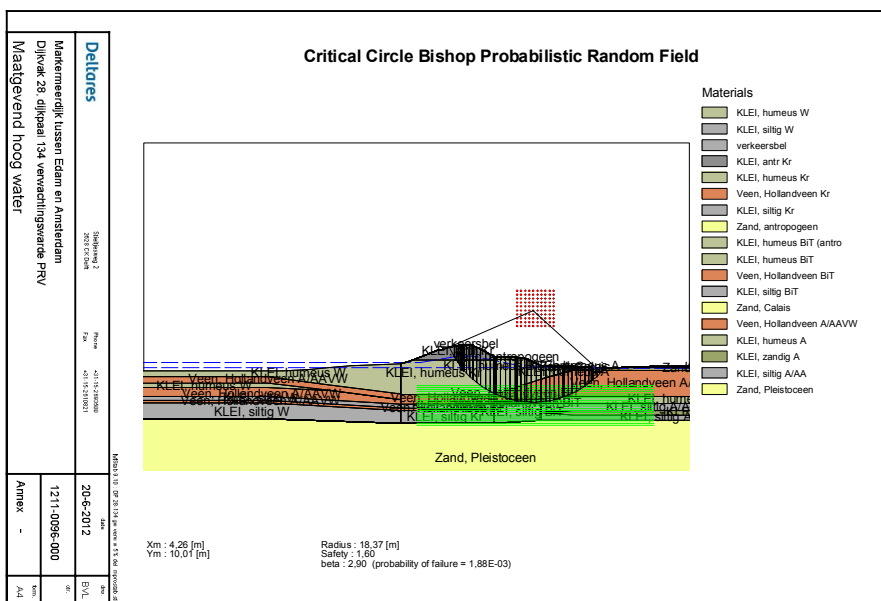
## 28-134 Aangepaste Parameters piekwaarde extreme neerslag



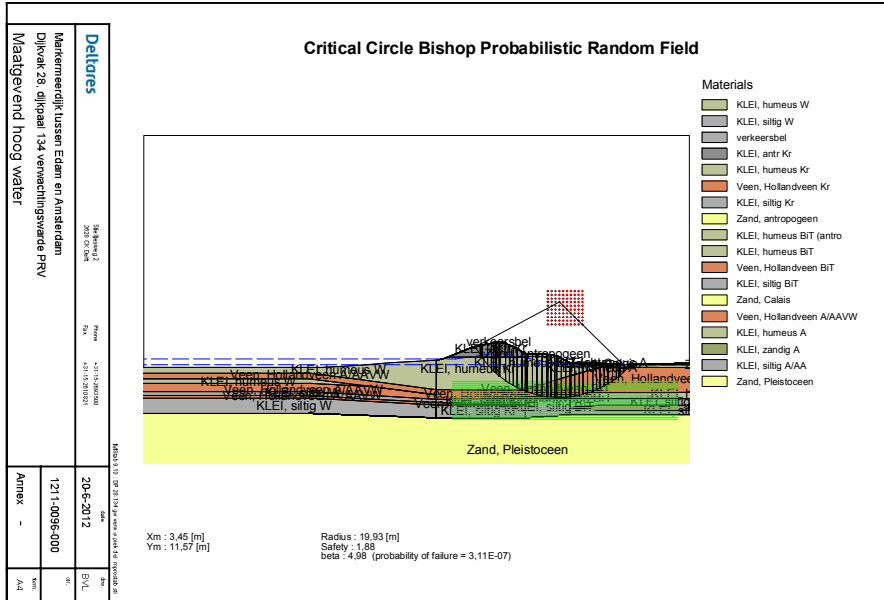
## 28-134 proevenverzameling Gemiddelde waterstand



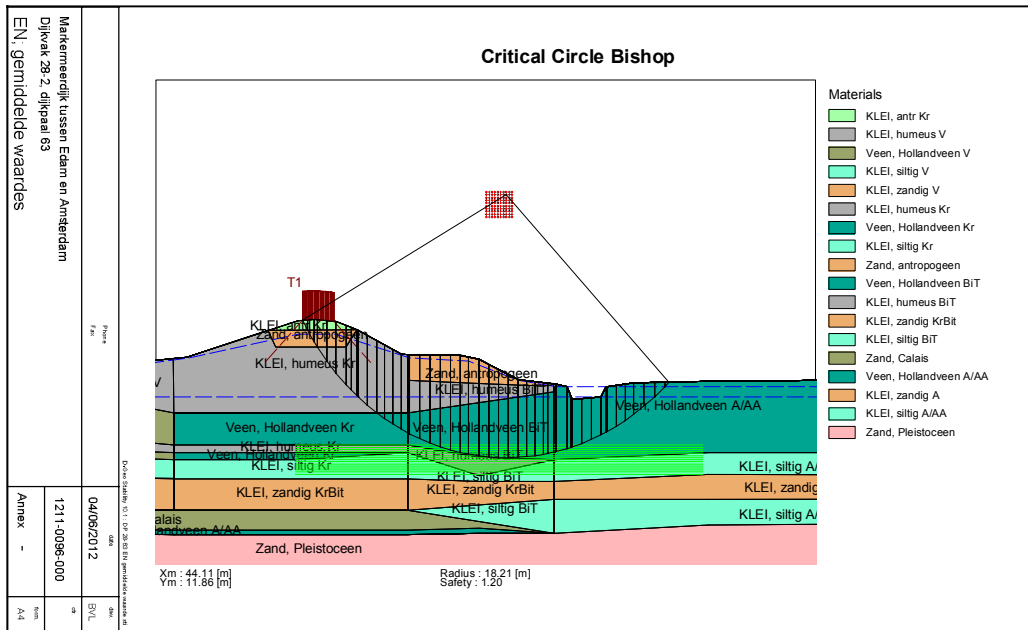
## 28-134 aangepaste parameters 5 rek Gemiddelde waterstand



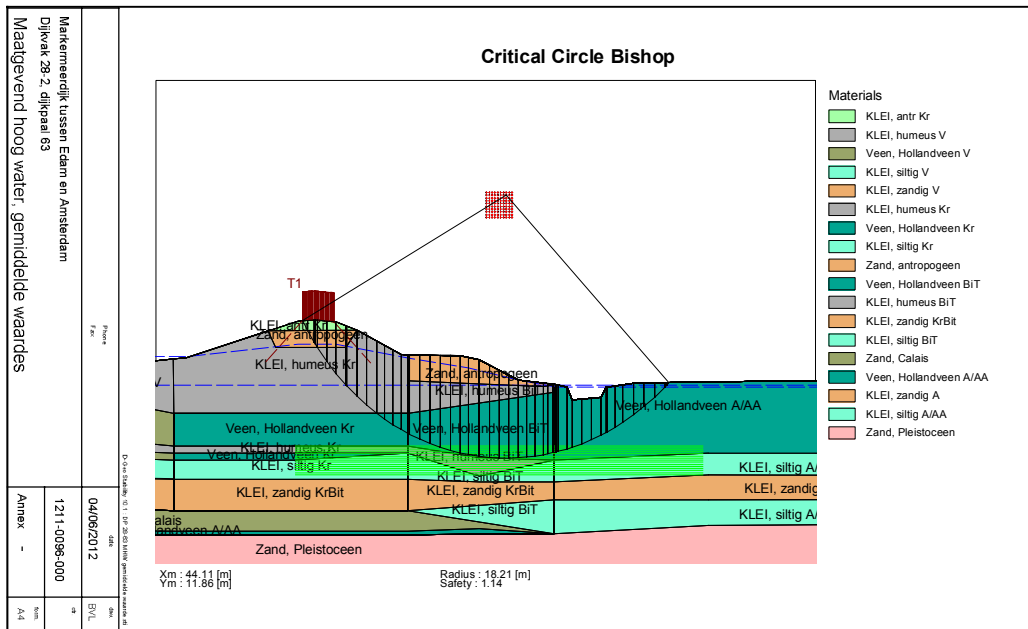
# 28-134 Aangepaste Parameters piekwaarde Gemiddelde waterstand



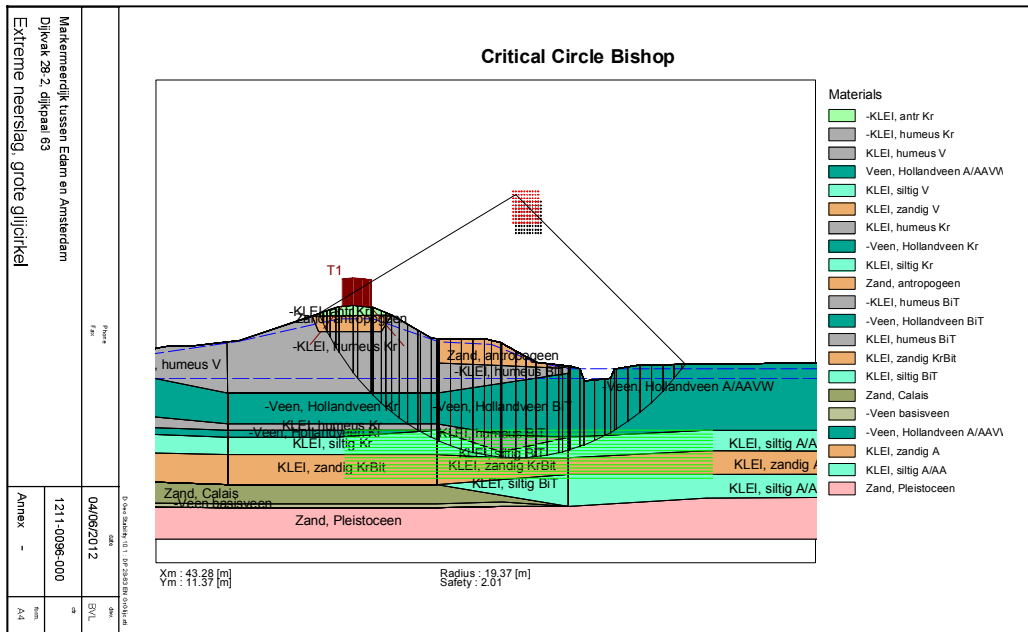
28+63; EN\_V0\_Bishop



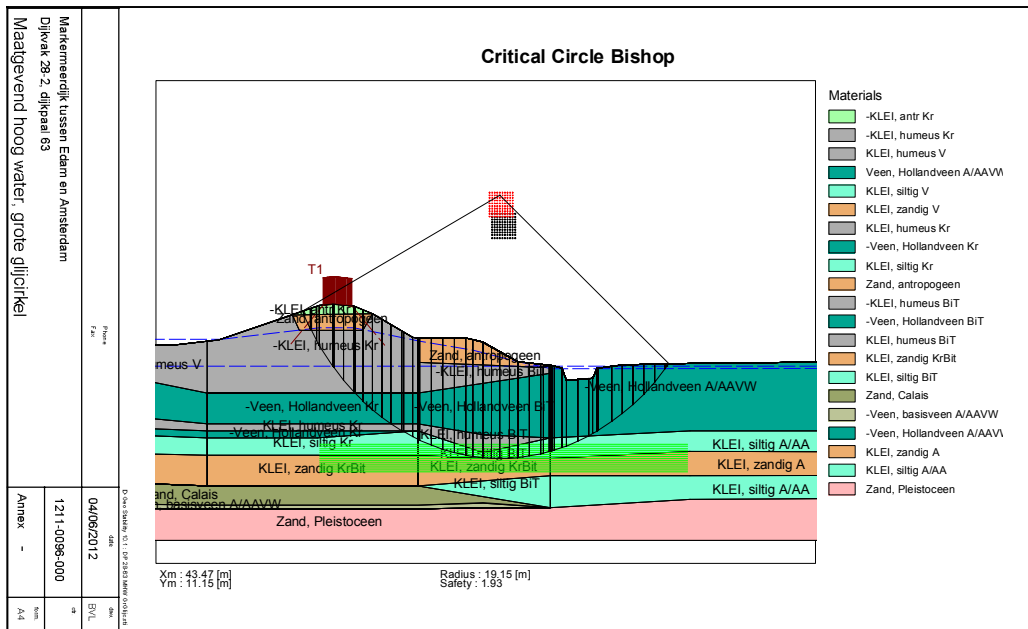
28+63; MHW\_V0\_Bishop



28+63; EN\_V1\_Bishop

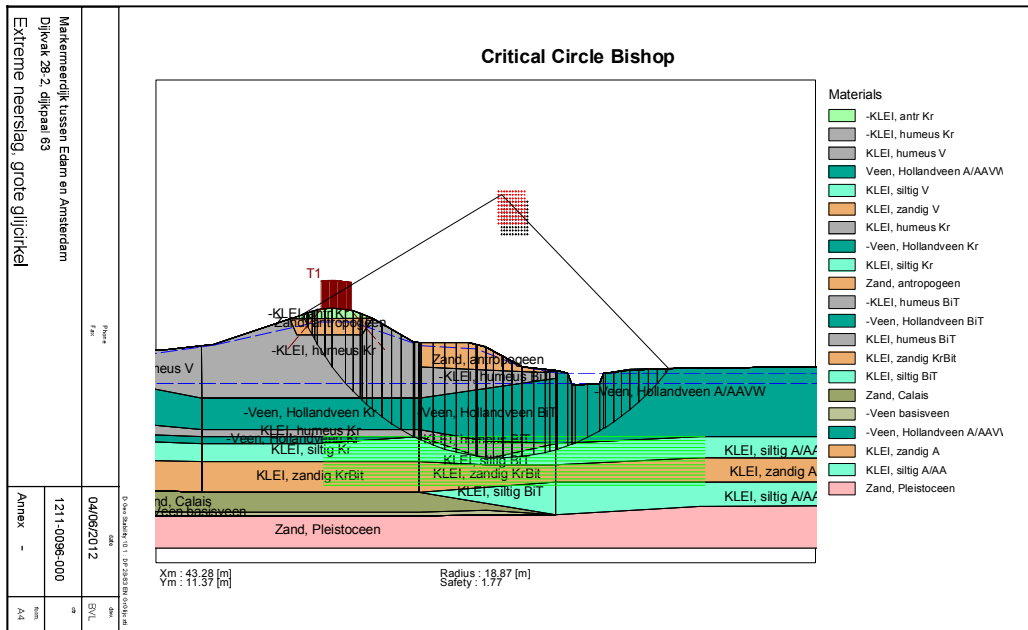


28+63; MHW\_V1\_Bishop

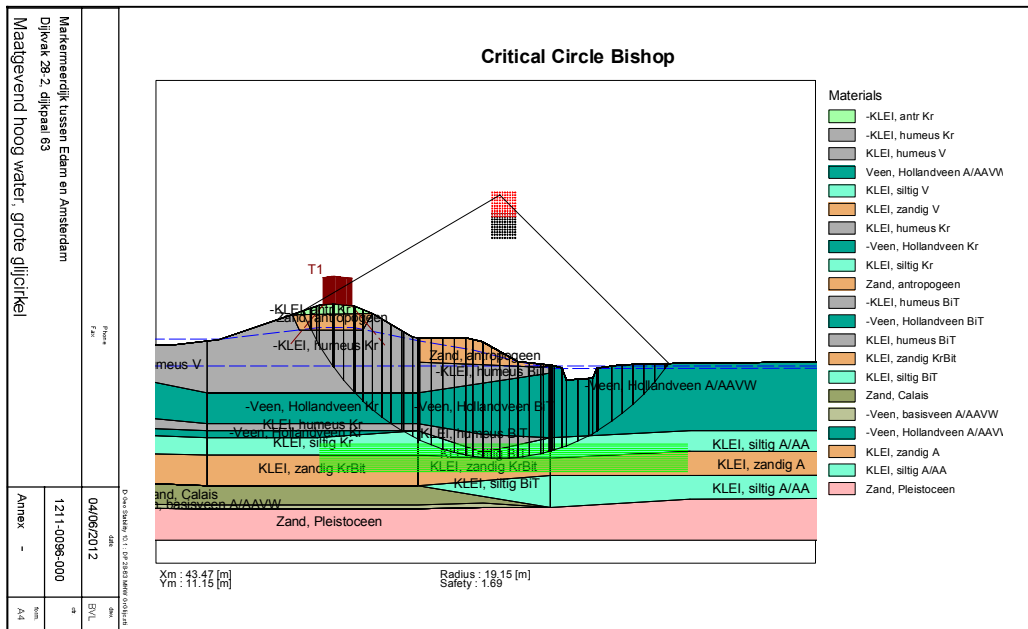




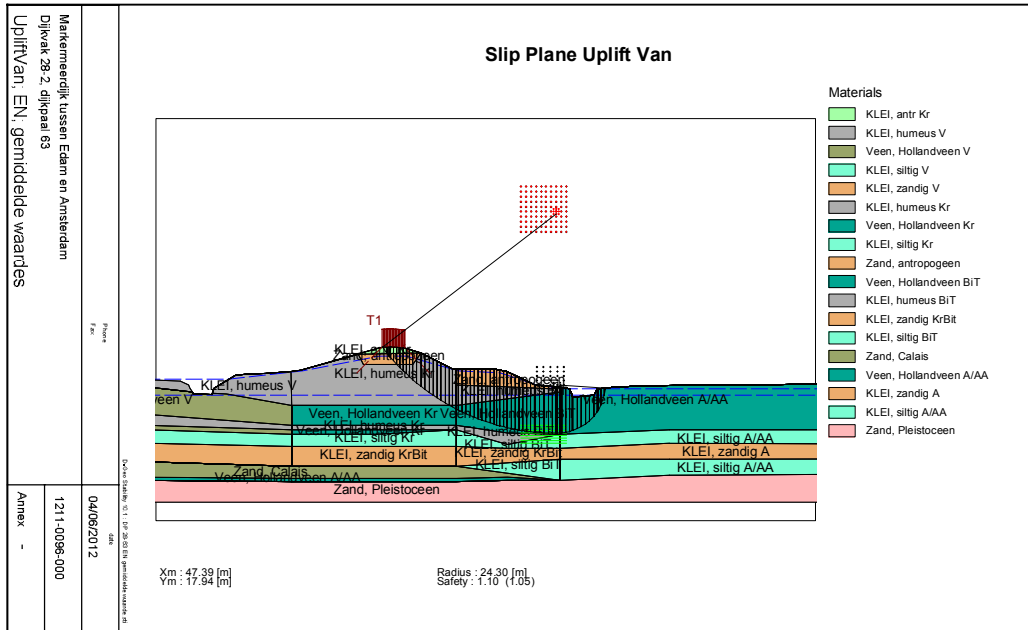
28+63; EN\_V2\_Bishop



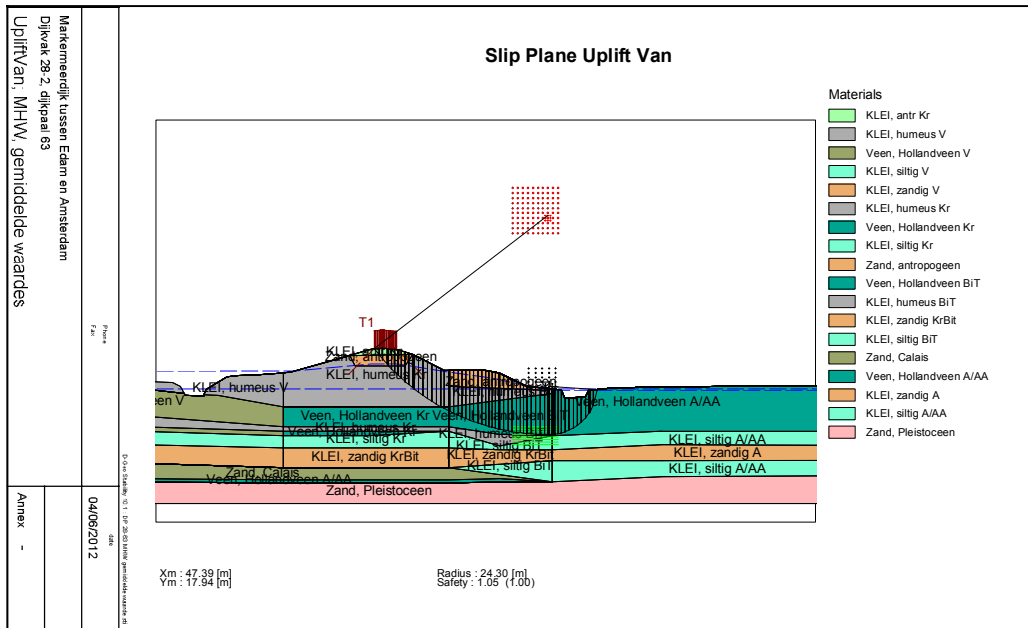
28+63; MHW\_V2\_Bishop



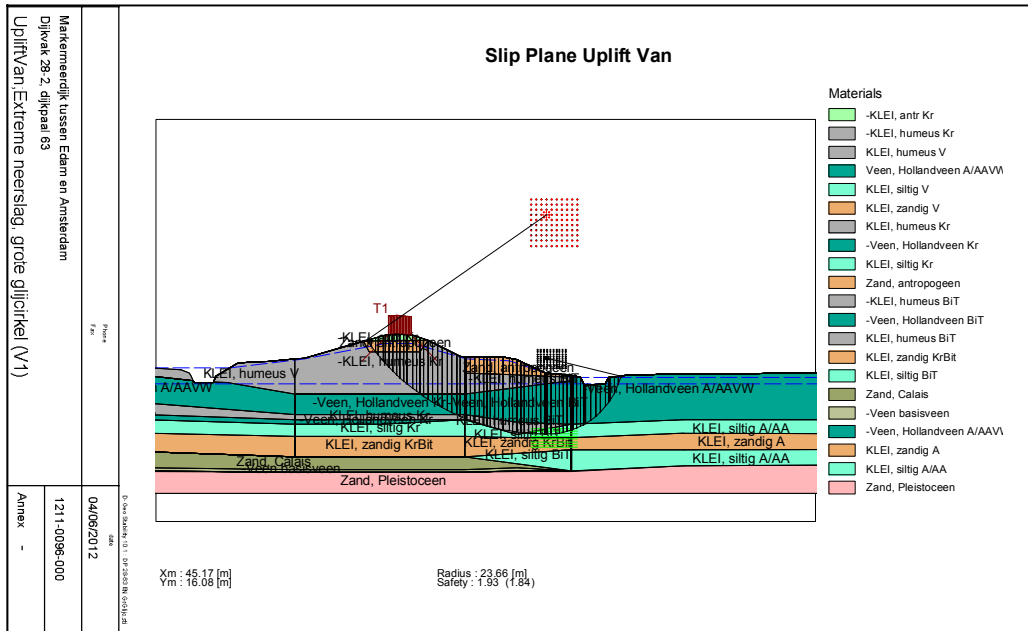
28+63; EN\_V0\_UpliftVan



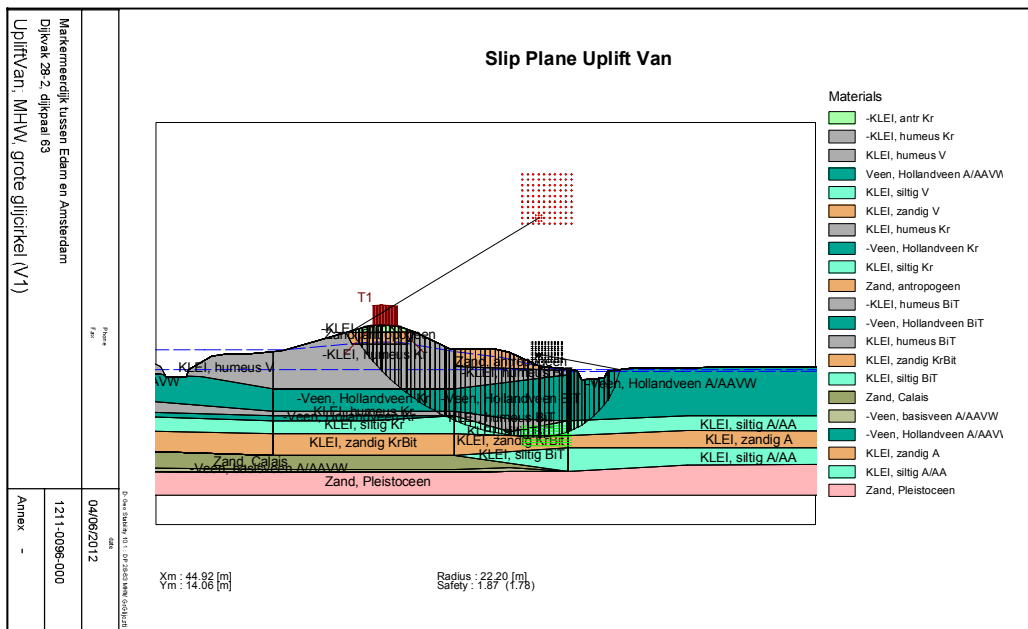
28+63; MHW\_V0\_UpliftVan



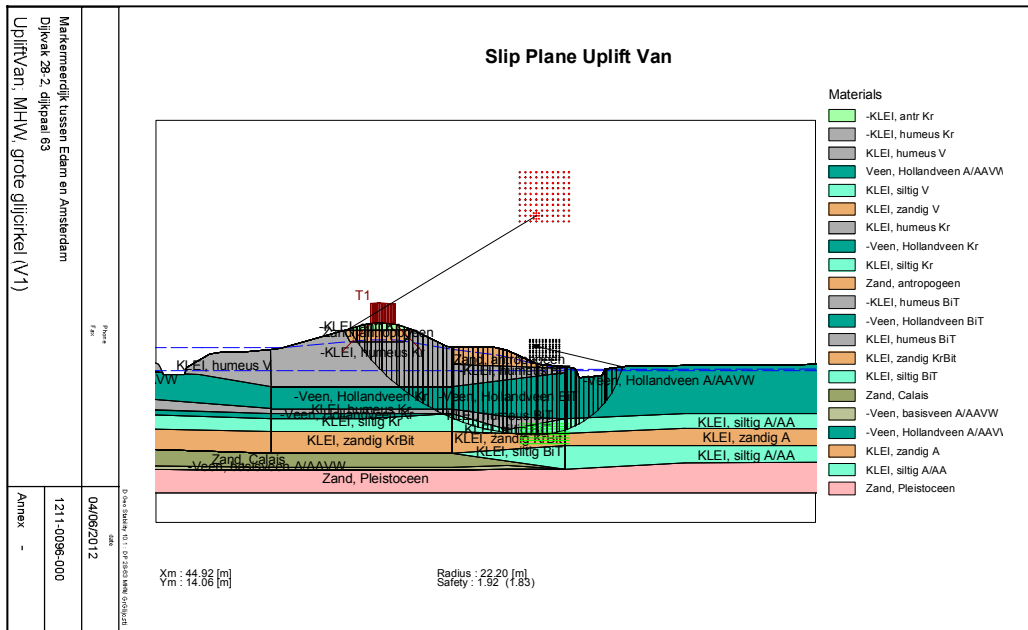
28+63; EN\_V1\_UpliftVan



28+63; MHW\_V1\_UpliftVan



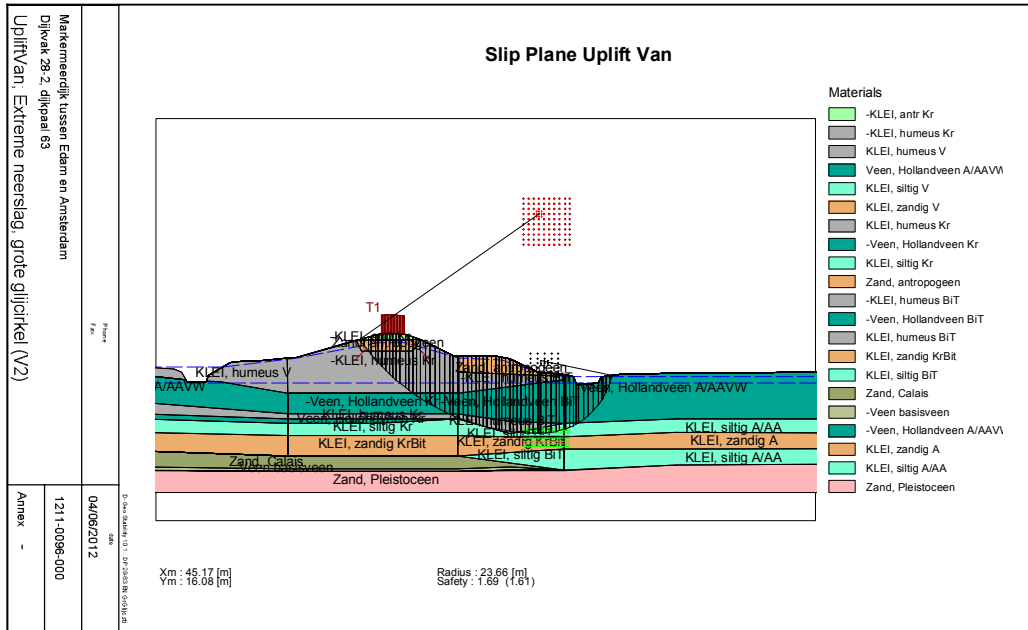
28+63; MHW\*\*\_V1\_UpliftVan



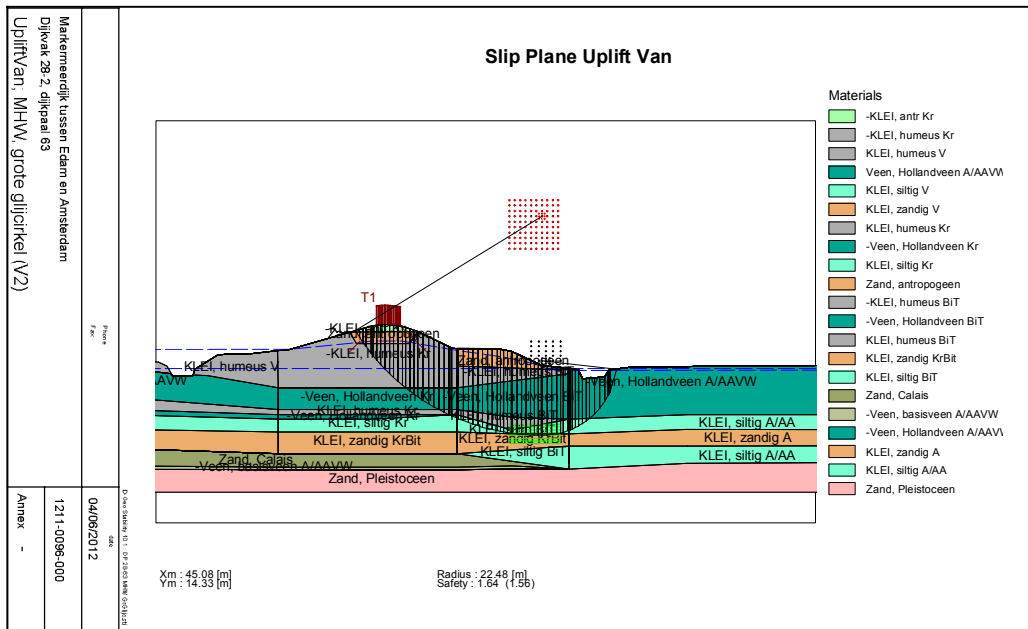
Markteverdiel tussen Edam en Amsterdam  
 Dijkvak 28.2, dijppaal 63  
 UpliftVan, MHW, grote glijderkeel (V1)

Datum: 04/06/2012  
 1211-0096-000  
 Annex -

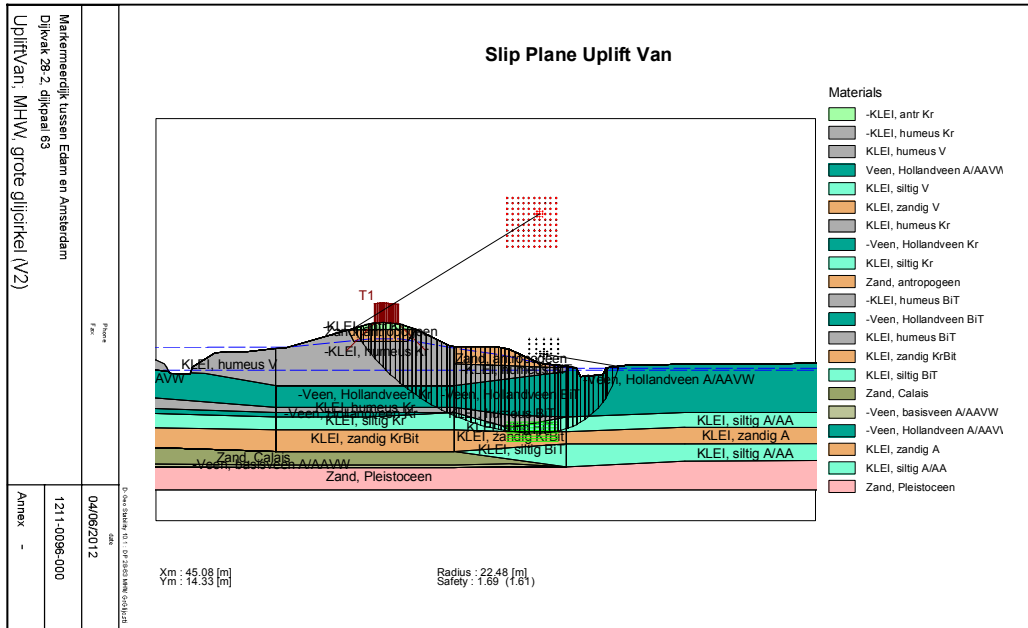
28+63; EN\_V2\_UpliftVan



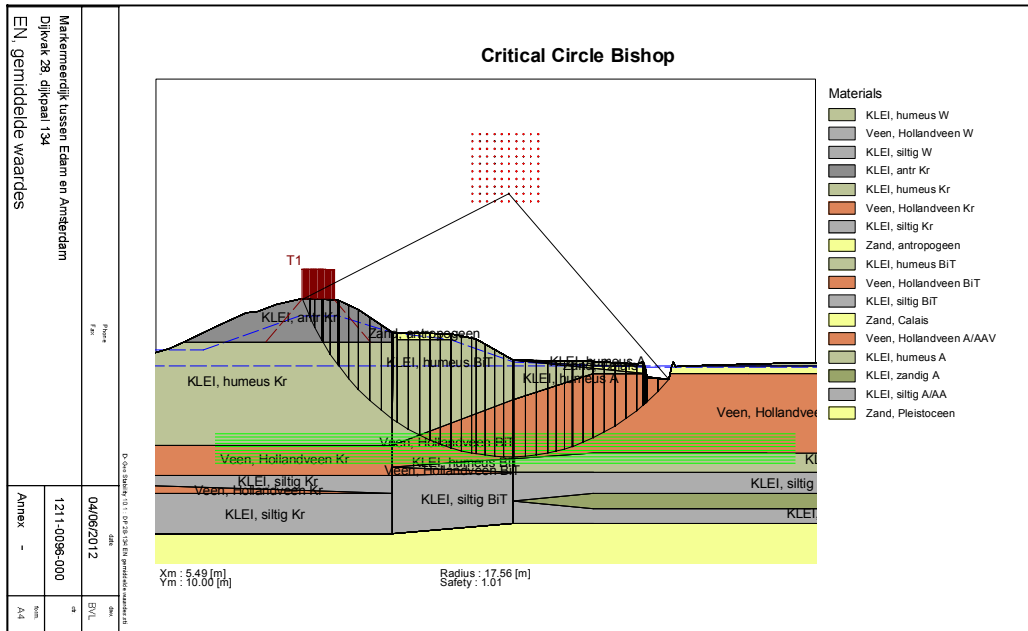
28+63; MHW\_V2\_UpliftVan



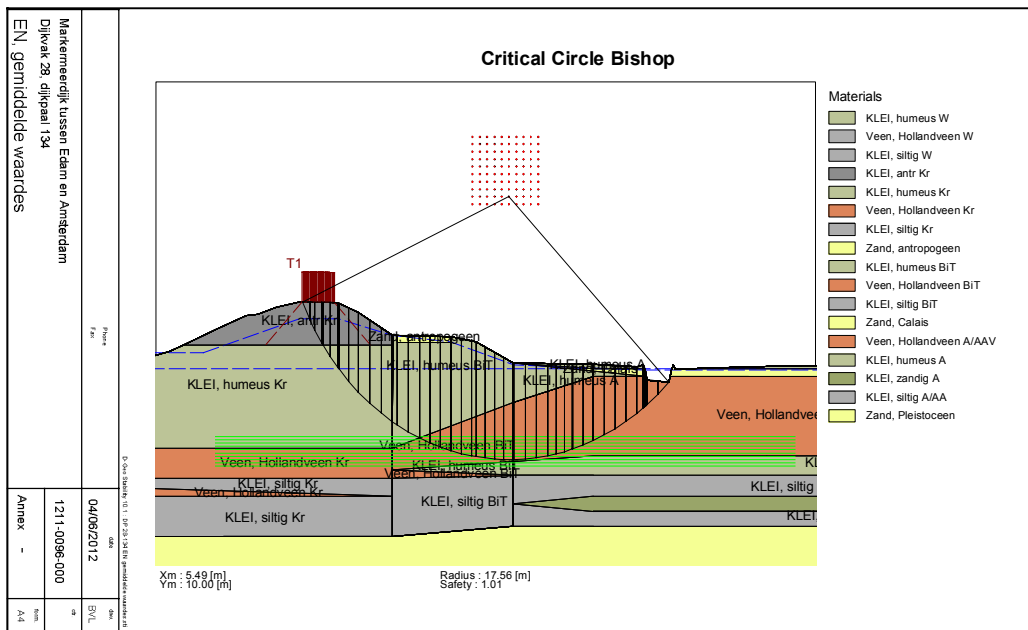
28+63; MHW\*\*\_V2\_UpliftVan



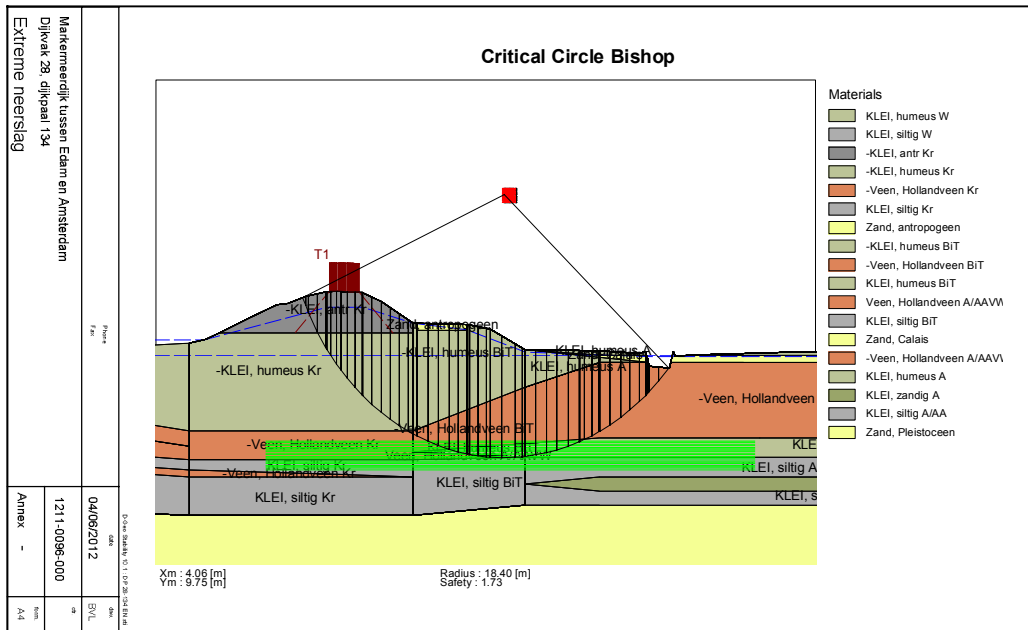
28+134; EN\_V0\_Bishop



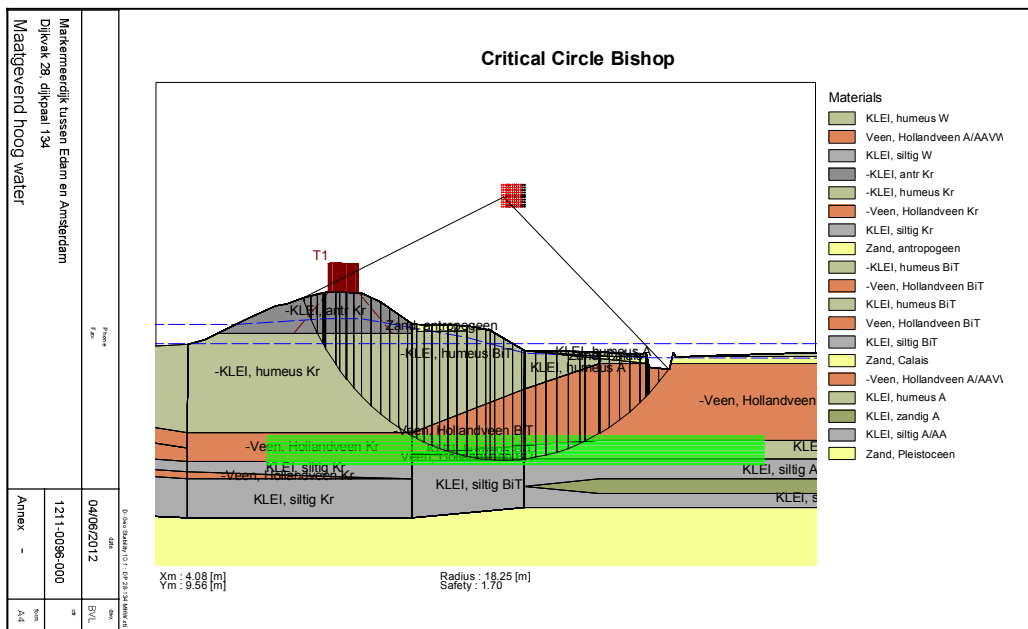
28+134; MHW\_V0\_Bishop



28+134; EN\_V1\_Bishop

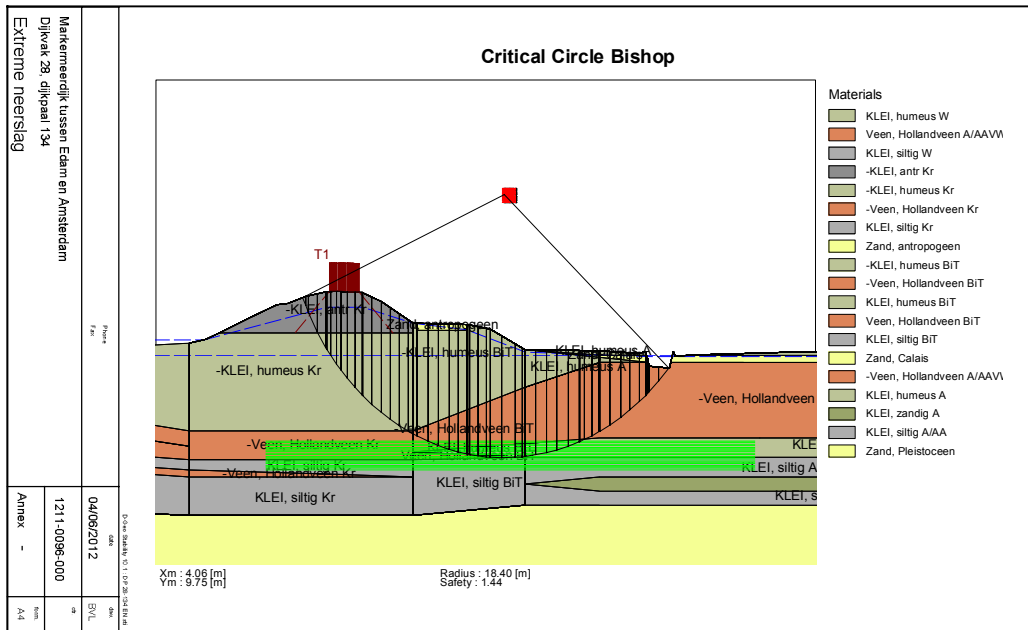


28+134; MHW\_V1\_Bishop

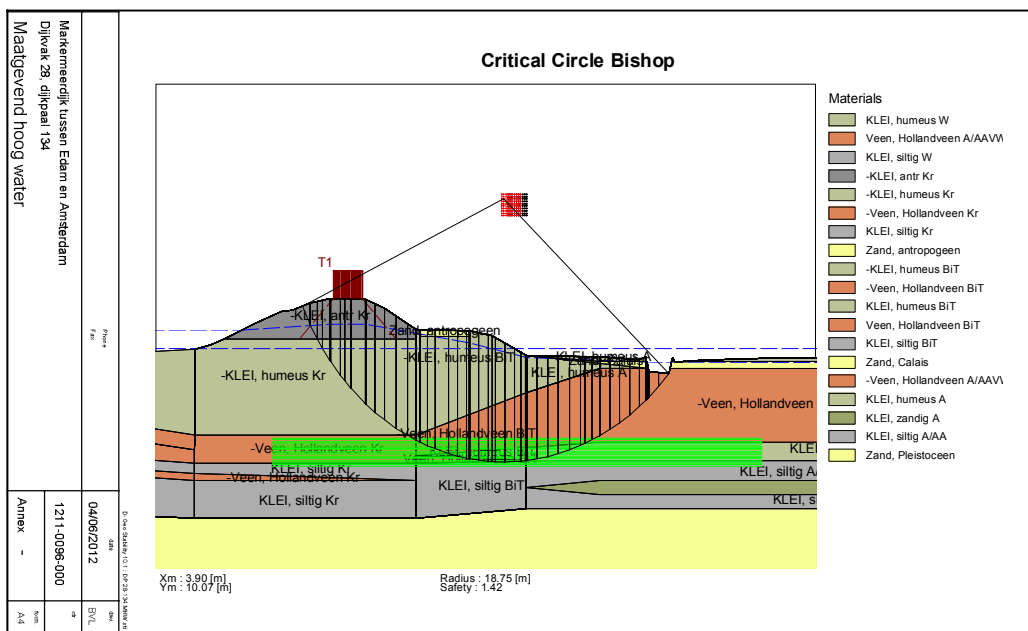




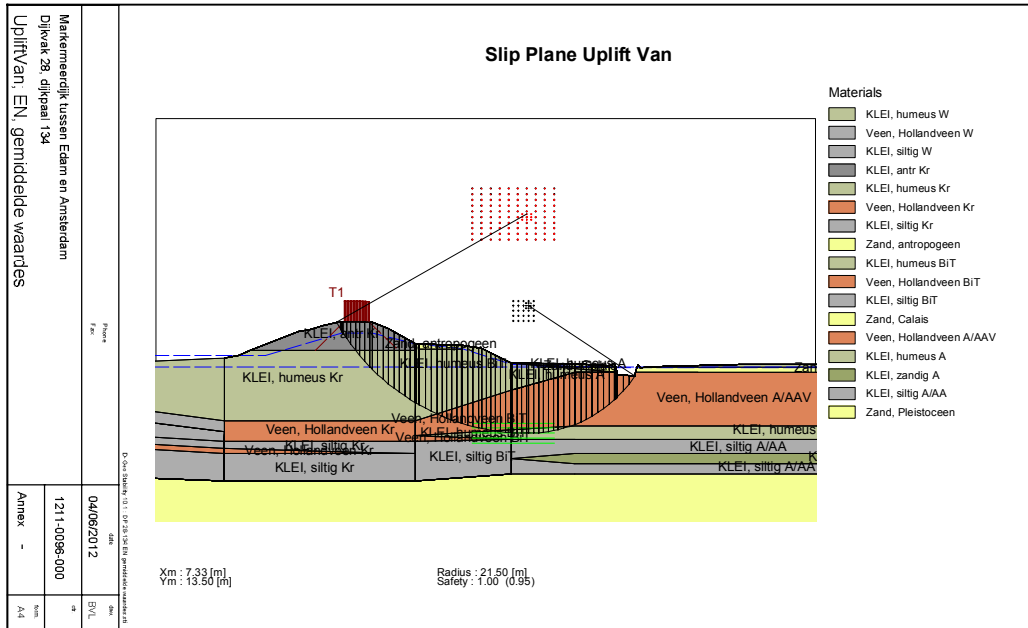
28+134; EN\_V2\_Bishop



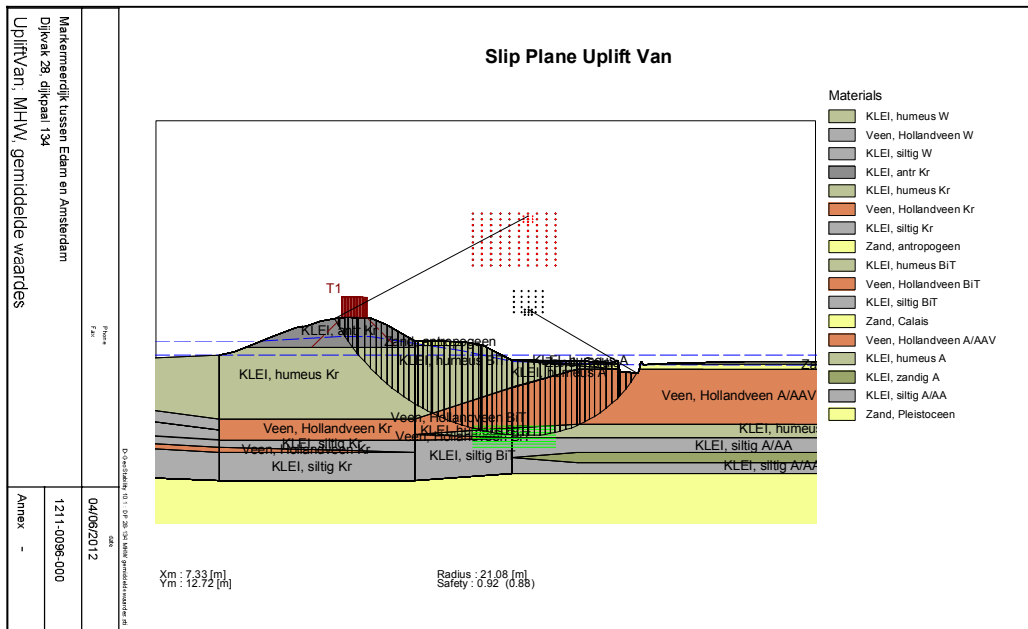
28+134; MHW\_V2\_Bishop



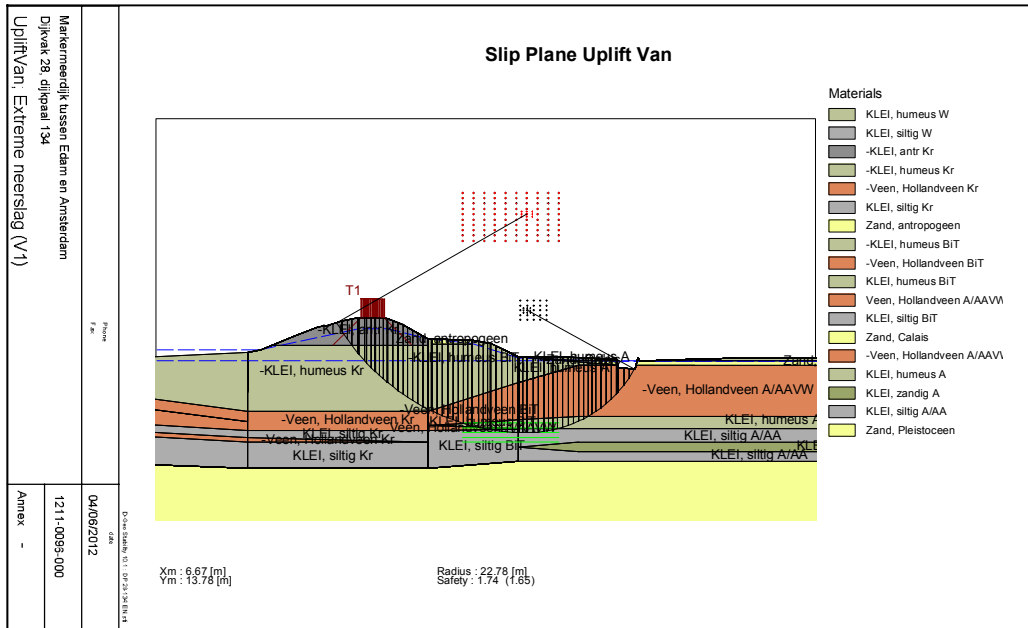
28+134; EN\_V0\_UpliftVan



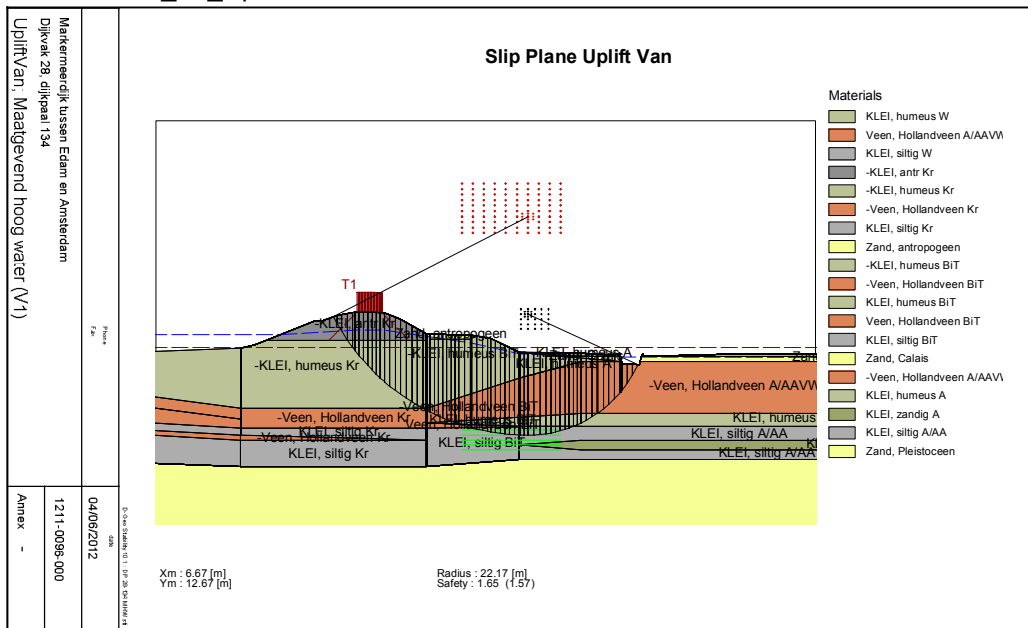
28+134; MHW\_V0\_UpliftVan



## 28+134; EN\_V1\_UpliftVan

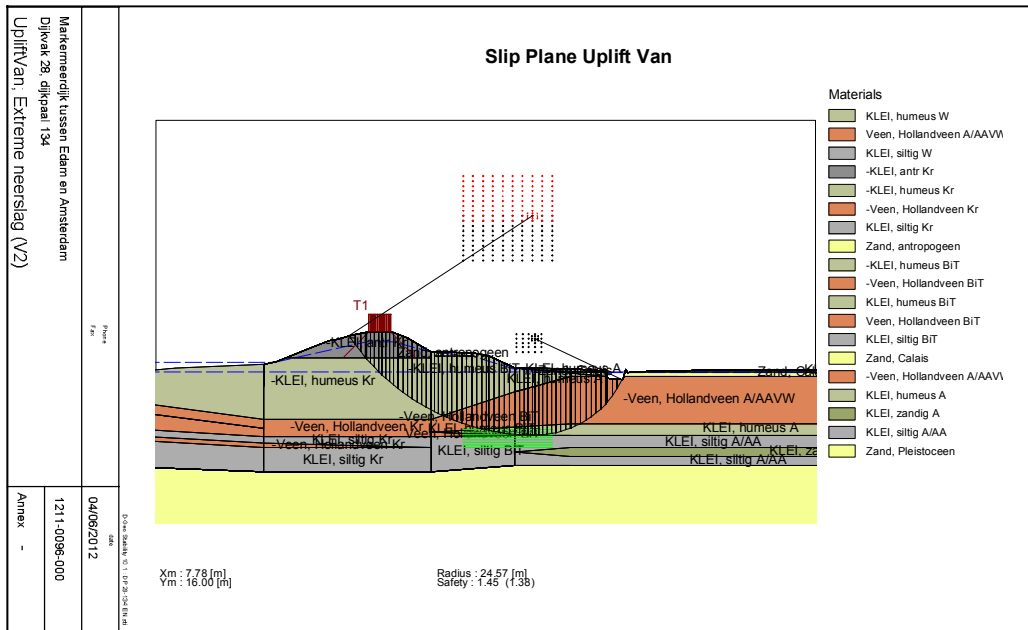


## 28+134; MHW\_V1\_UpliftVan

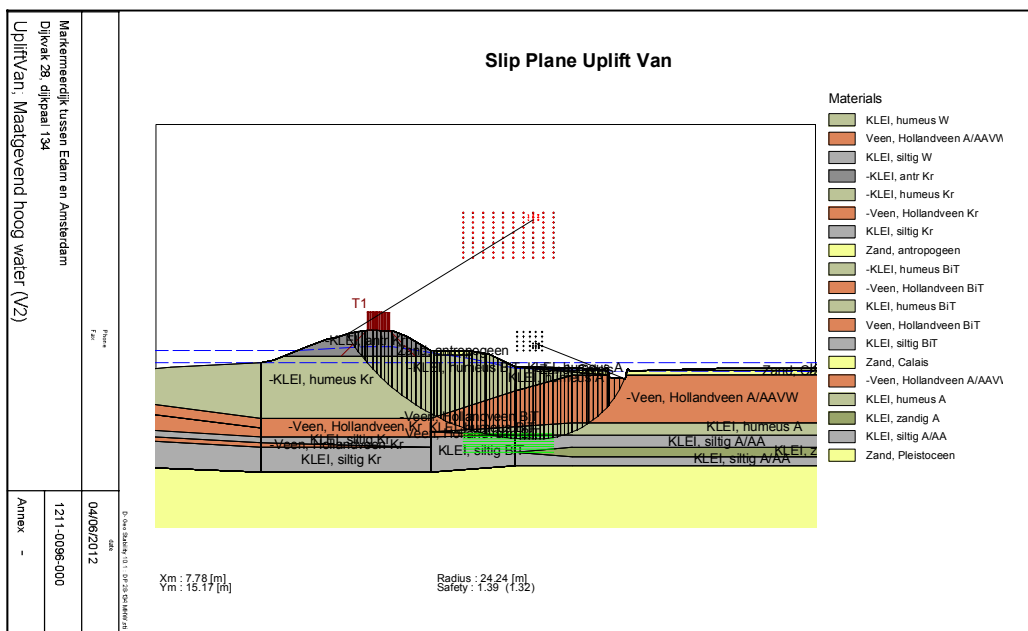




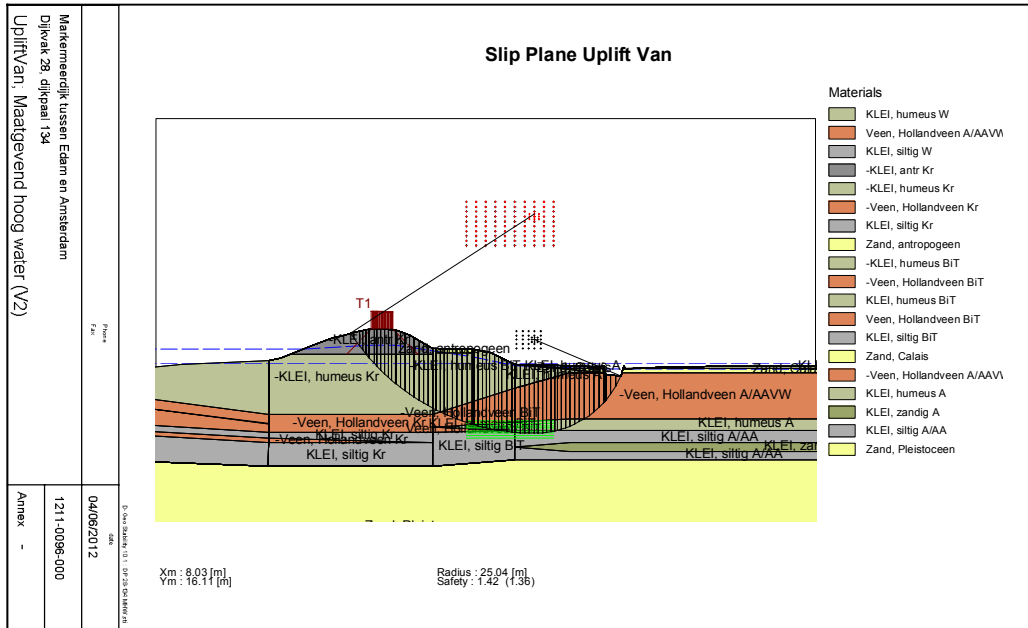
28+134; EN\_V2\_UpliftVan



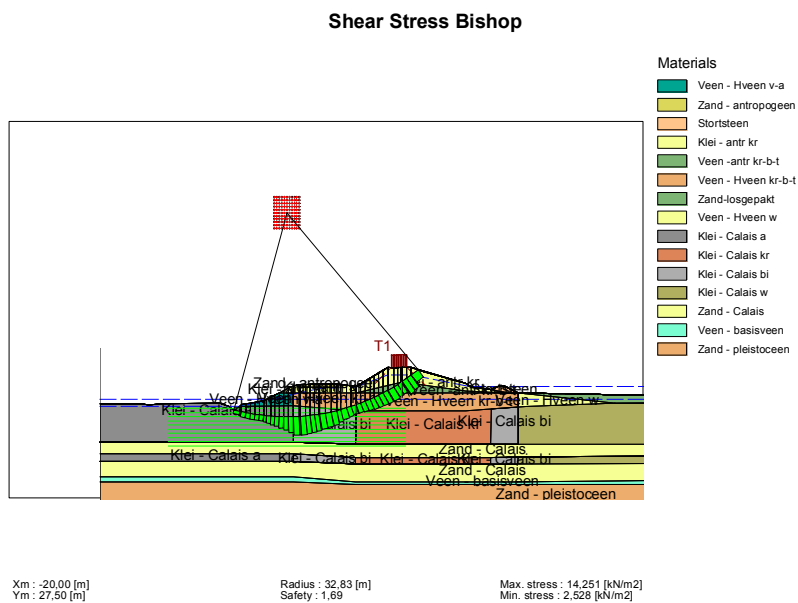
28+134; MHW\_V2\_UpliftVan



28+134; MHW\*\*\_V2\_UpliftVan

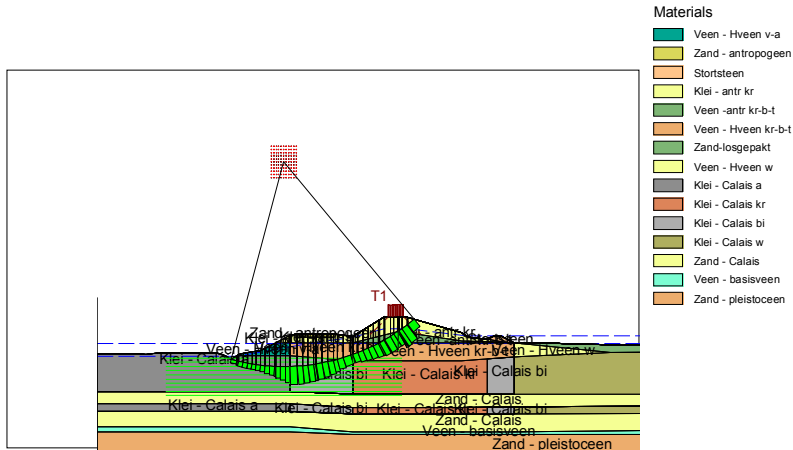


Sommen V0, gemiddelde waarden voor de sterkte uit de toetsing



Dijk 20 DP34 MHW gemiddelde waarde Fugro Bishop Grote glijcirkel

### Shear Stress Bishop



- Materials**
- Veem - Hveen v-a
  - Zand - antropogeen
  - Stortsteen
  - Klei - antr kr
  - Veem - antr kr-b-t
  - Veem - Hveen kr-b-t
  - Zand-losgepakt
  - Veem - Hveen w
  - Klei - Calais a
  - Klei - Calais kr
  - Klei - Calais bi
  - Klei - Calais w
  - Zand - Calais
  - Veem - basisveen
  - Zand - pleistoceen

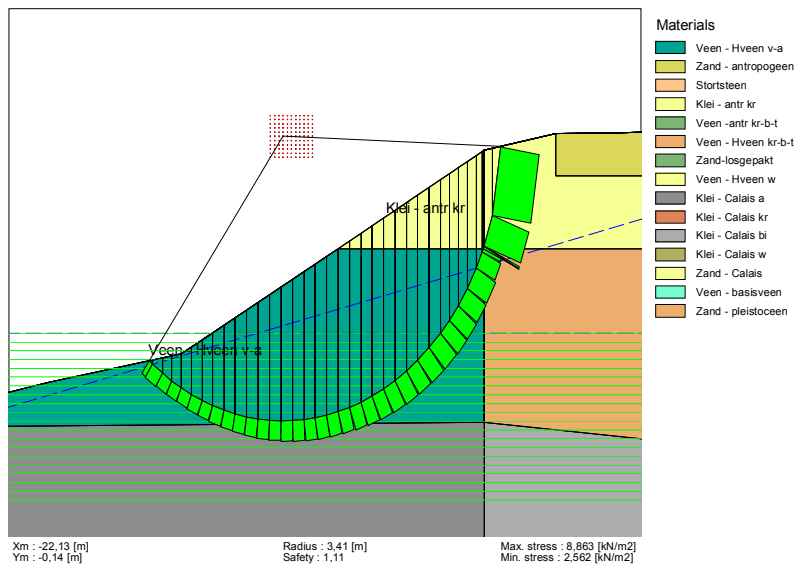
Xm : -20,00 [m]  
Ym : 27,50 [m]

Radius : 32,83 [m]  
Safety : 1,73

Max. stress : 13,745 [kN/m<sup>2</sup>]  
Min. stress : 2,215 [kN/m<sup>2</sup>]

Dijk 20 DP34 EN gemiddelde waarde Fugro Bishop Grote glijcirkel

### Shear Stress Bishop

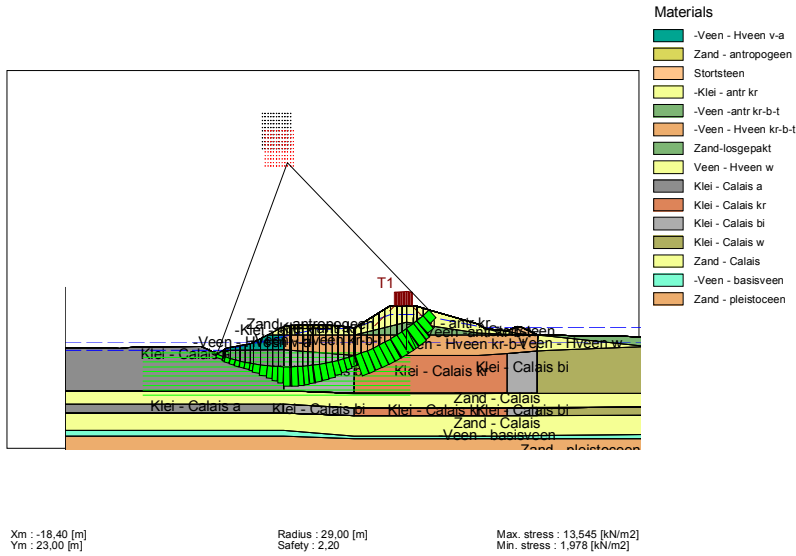


Dijk 20 DP34 EN gemiddelde waarde Fugro Bishop kleine glijcirkel

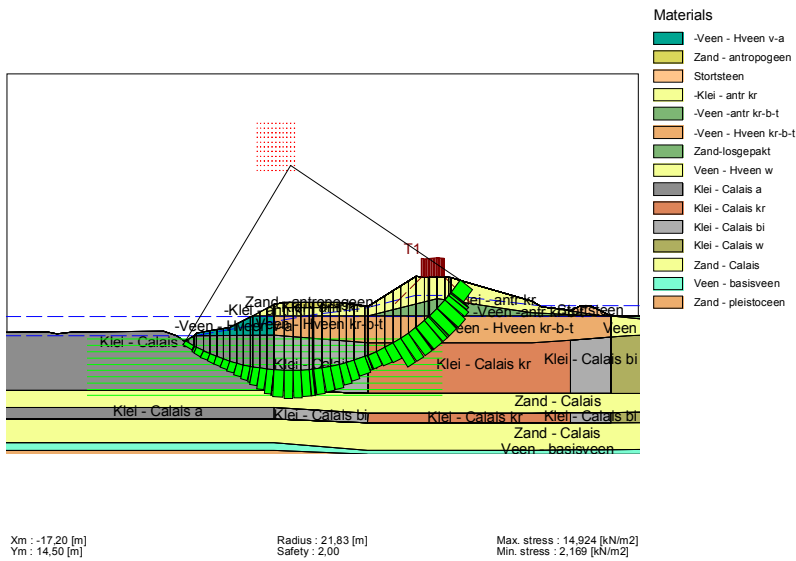


Versie 1

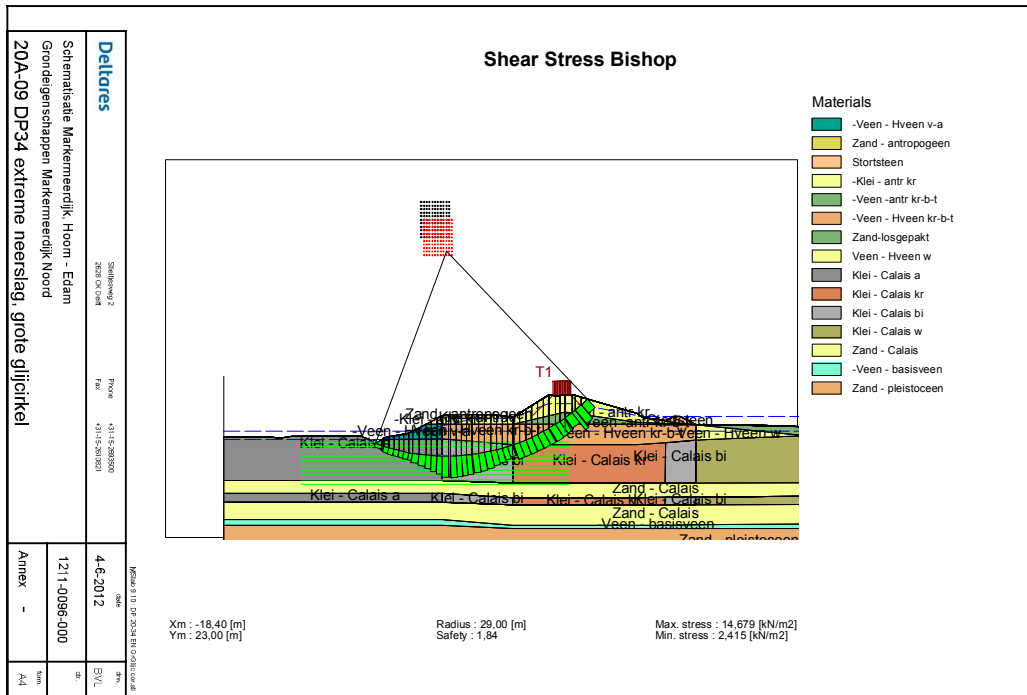
### Shear Stress Bishop



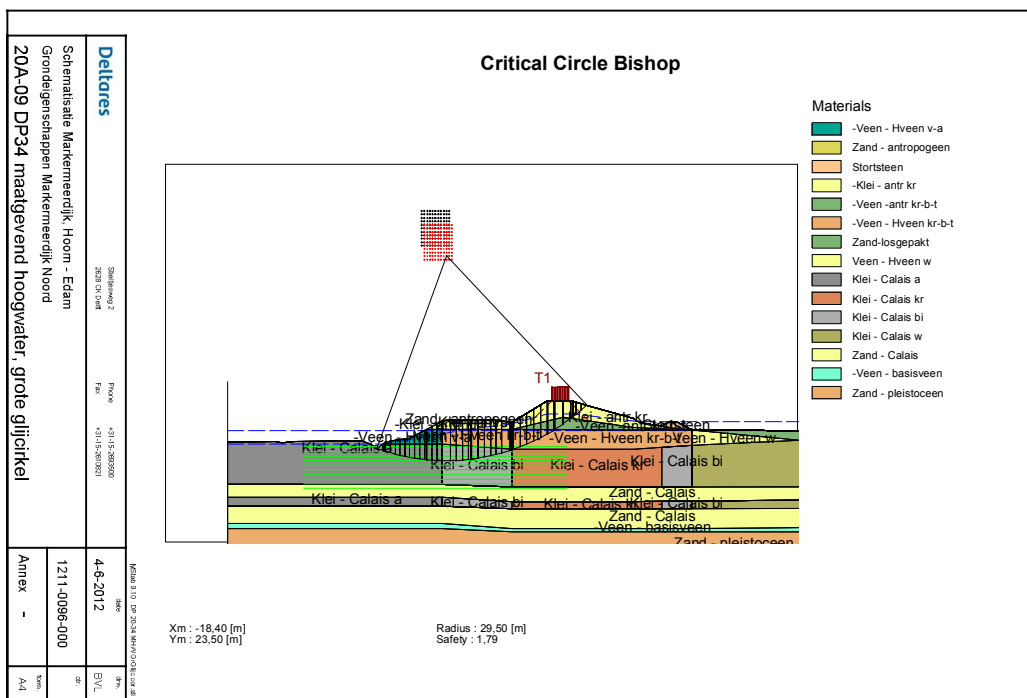
Dijk 20 DP34 EN gemiddelde waarde CU piekwaarde Grote glijcirkel



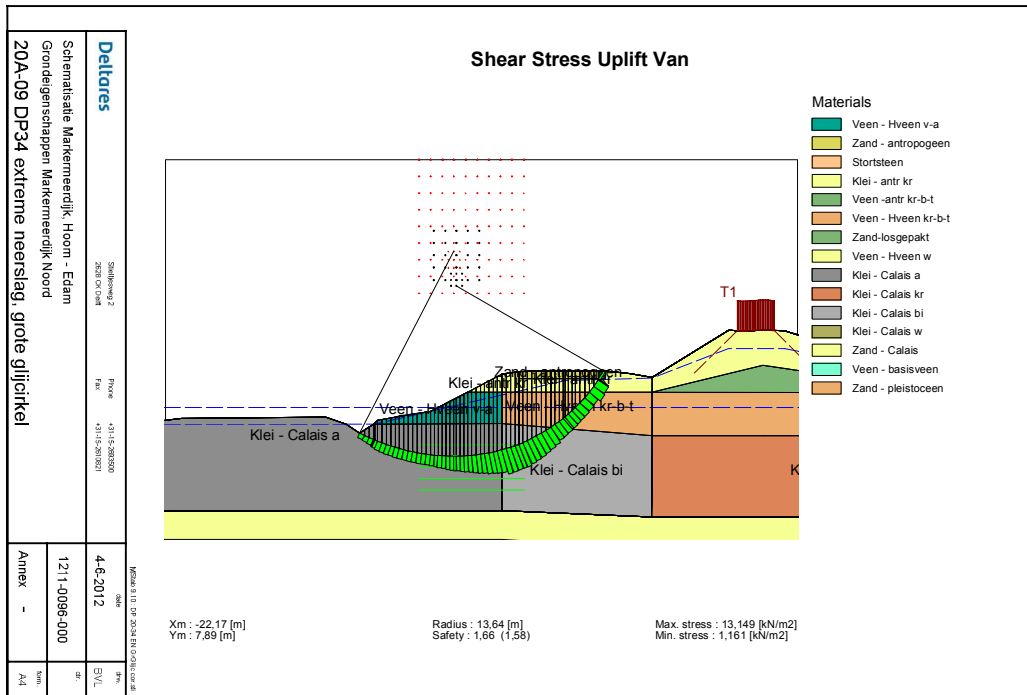
Dijk 20 DP34 MHW gemiddelde waarde CU piekwaarde Grote glijcirkel



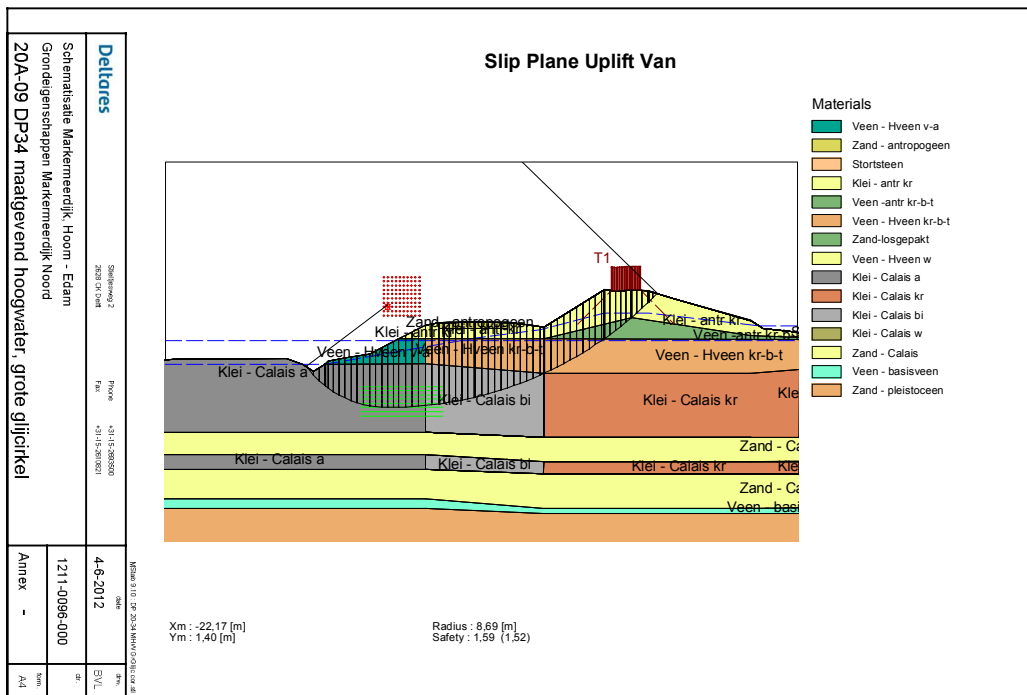
Dijk 20 DP34 EN gemiddelde waarde CU-5% rekwaarde Grote glijcirkel



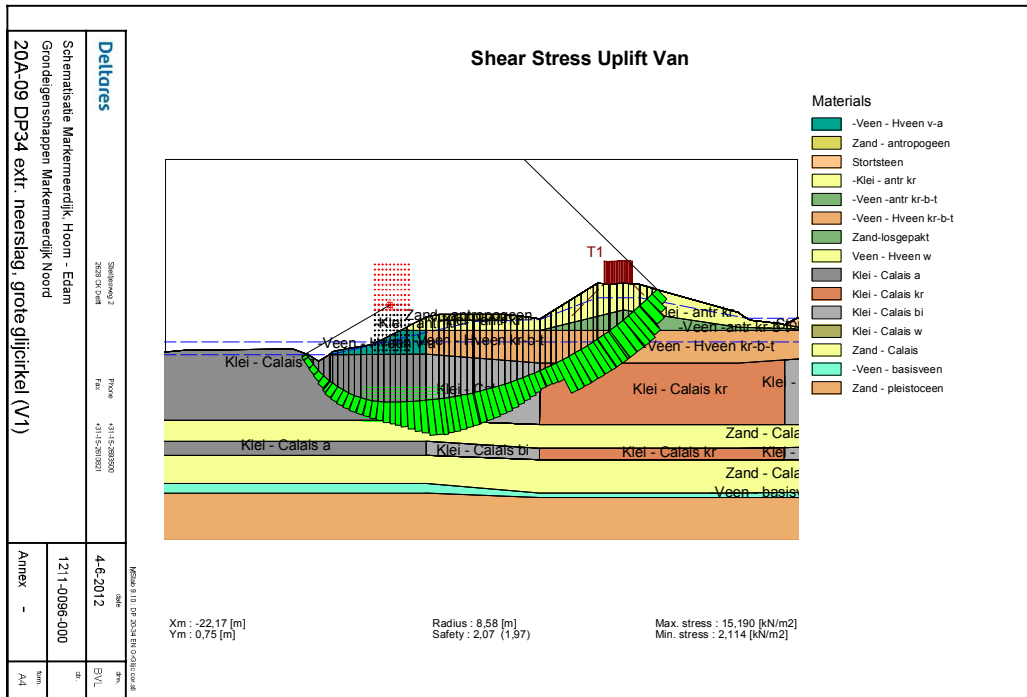
Dijk 20 DP34 MHW gemiddelde waarde CU-5% rekwaarde Grote glijcirkel



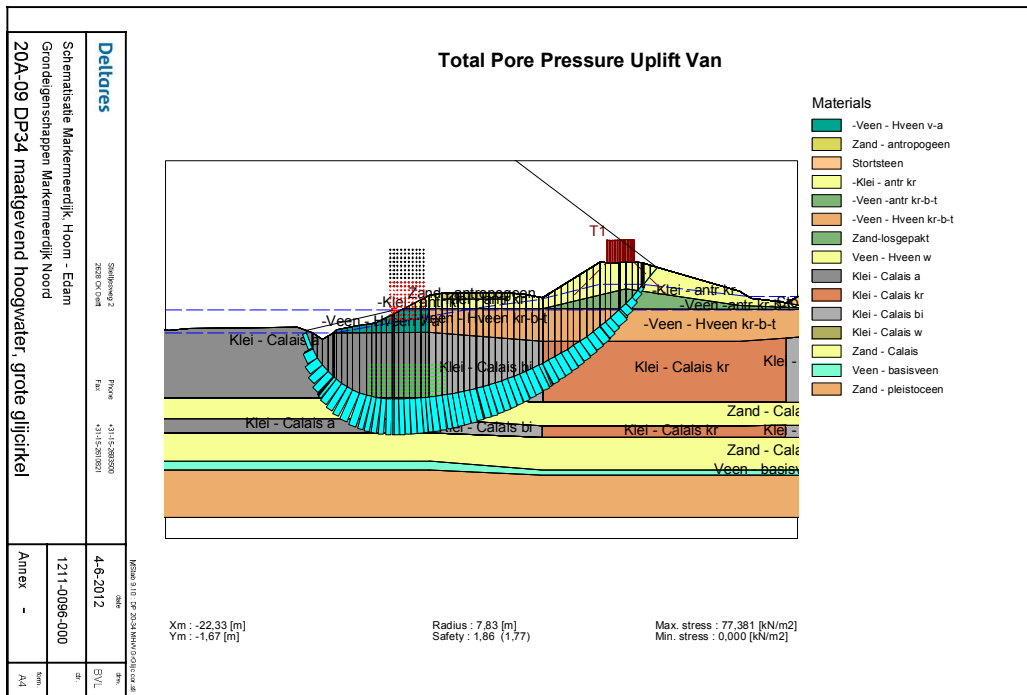
Dijk 20 DP34 EN gemiddelde waarde Fugro Drukstaaf kleine gelijkcikel



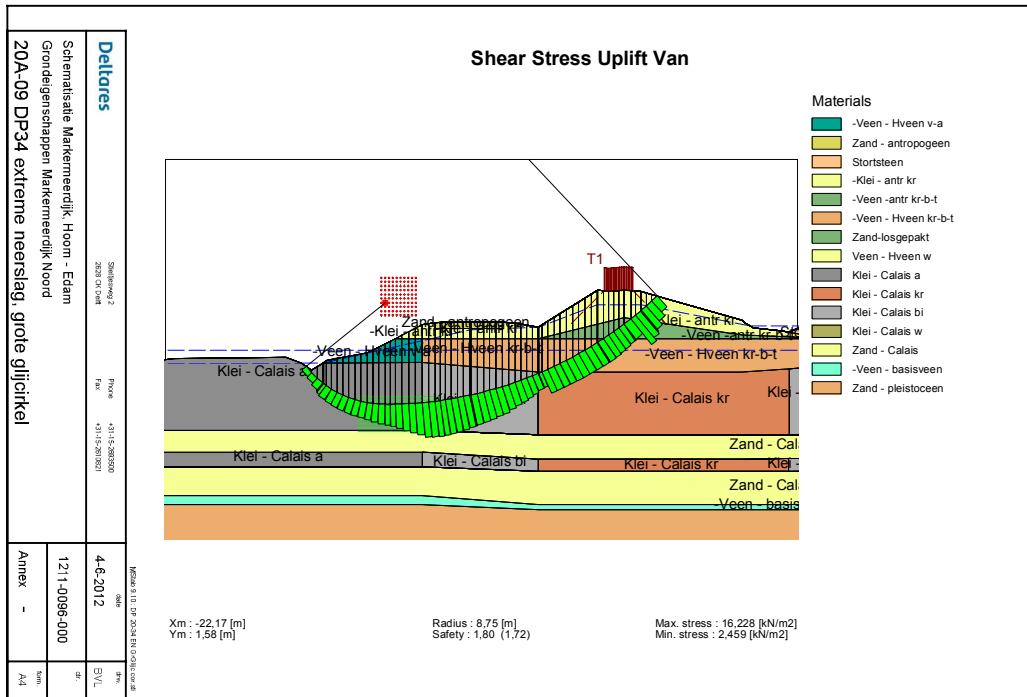
Dijk 20 DP34 MHW gemiddelde waarde Fugro Drukstaaf



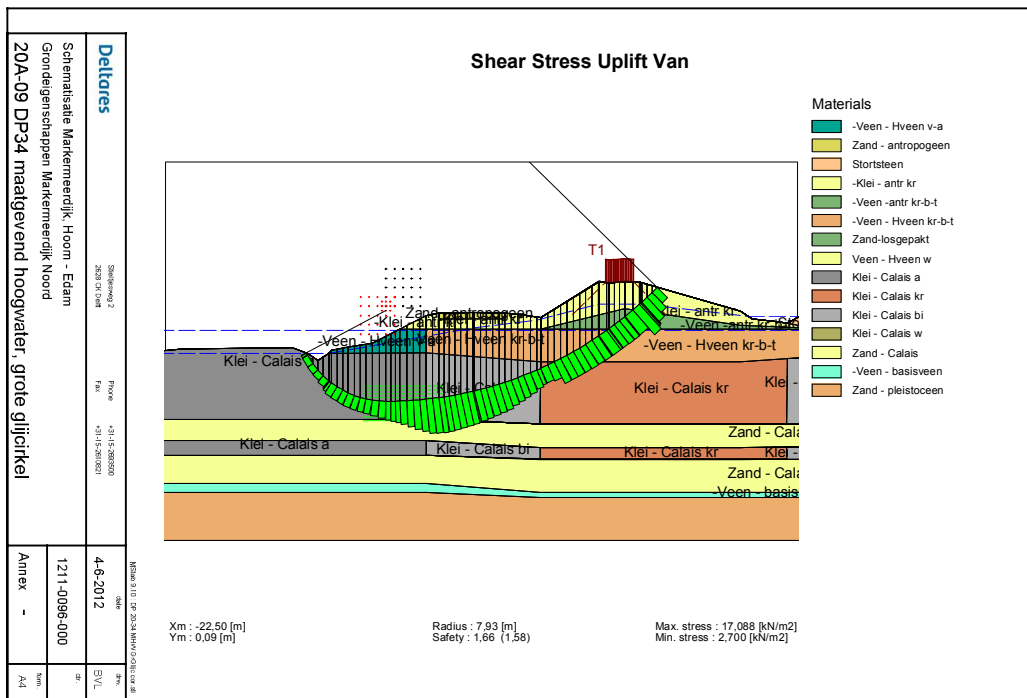
Dijk 20 dp 34 EN gemiddelde waarde CU piekwaarde 80 % respons



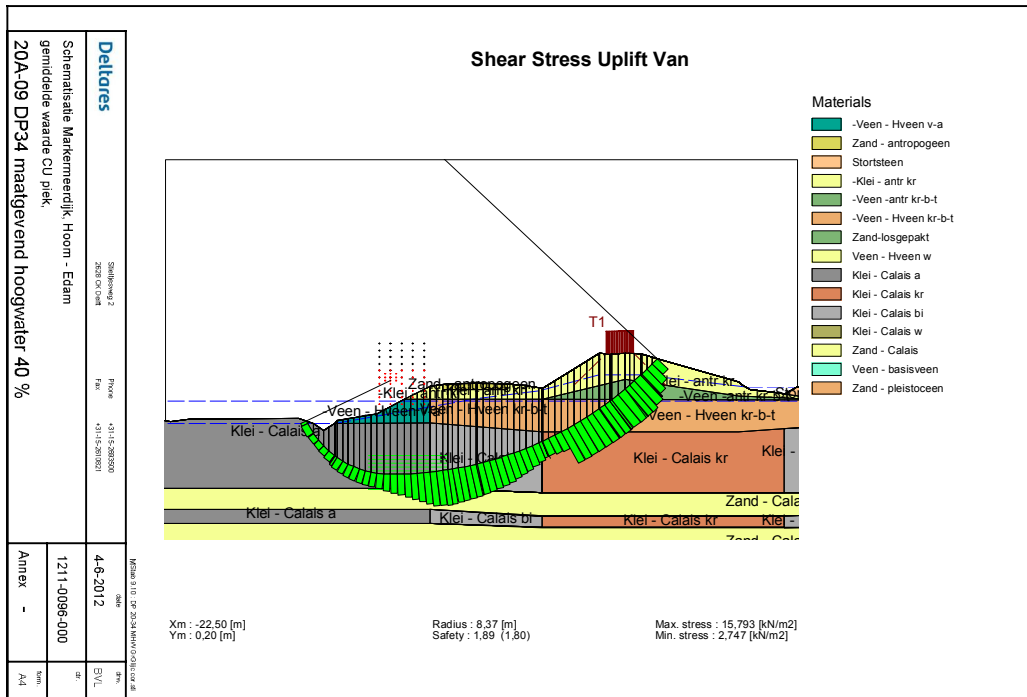
Dijk 20 dp34 MHW gemiddelde waarde cu-pieksterkte 80 respons



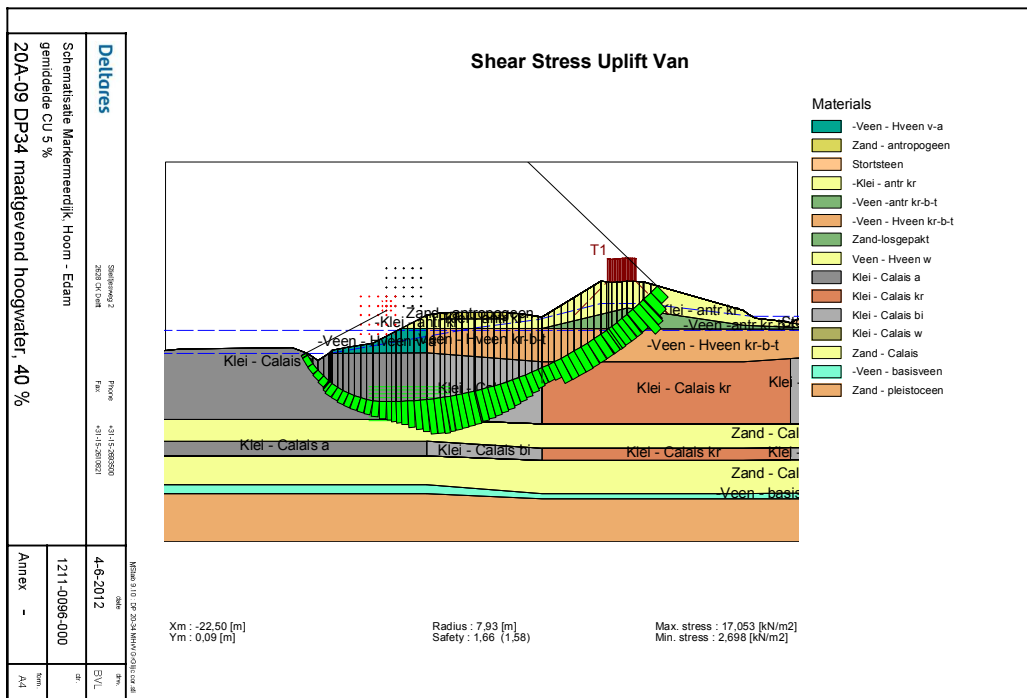
Dijk 20 dp 34 EN gemiddelde waarde CU 5%waarde



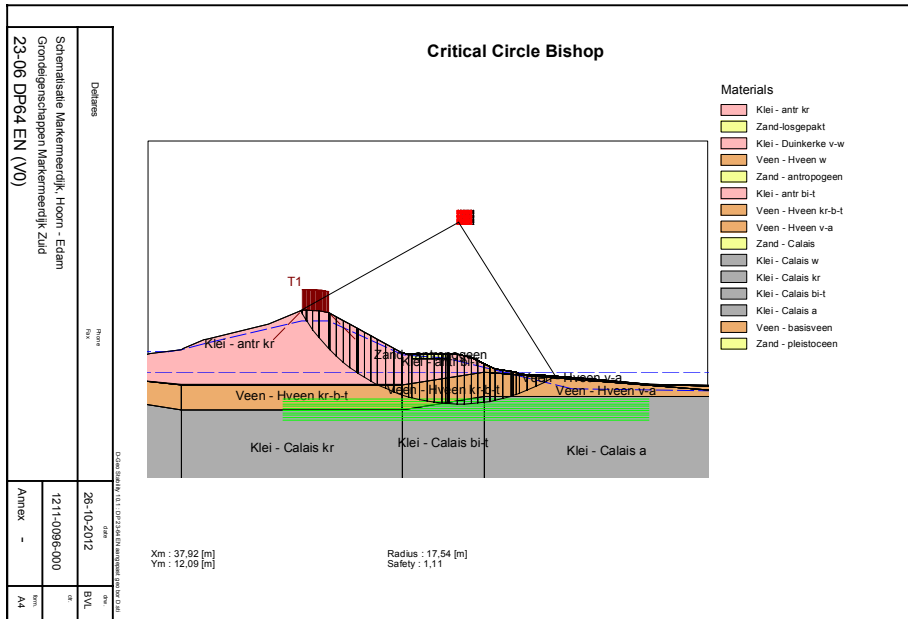
Dijk 20 dp 34 MHW gemiddelde waarde CU 5%waarde



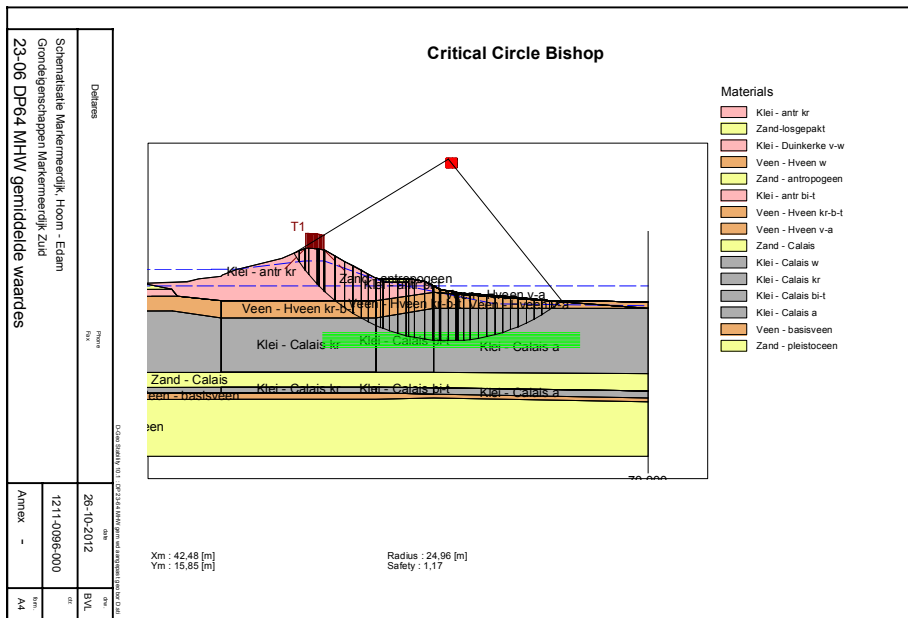
Dijk 20 dp 34 MHW gemiddelde waarde CU Piekwaarde MHW respons 40 %



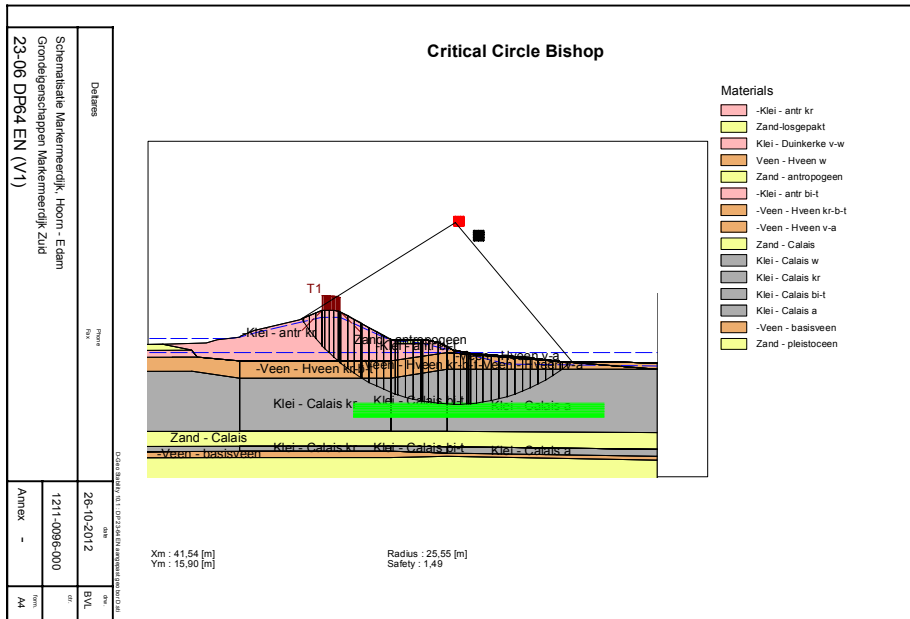
Dijk 20 dp 34 MHW gemiddelde waarde CU 5% waarde MHW respons 40 %



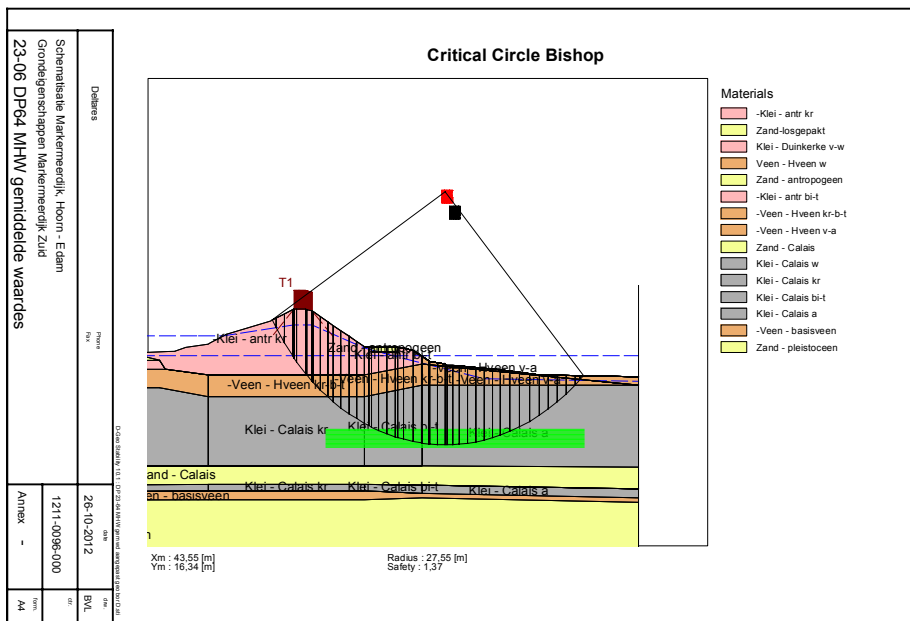
Dijk 23+64 Bishop VO, extreme neerslag



Dijk 23+64 Bishop VO, Maatgevend Hoogwater

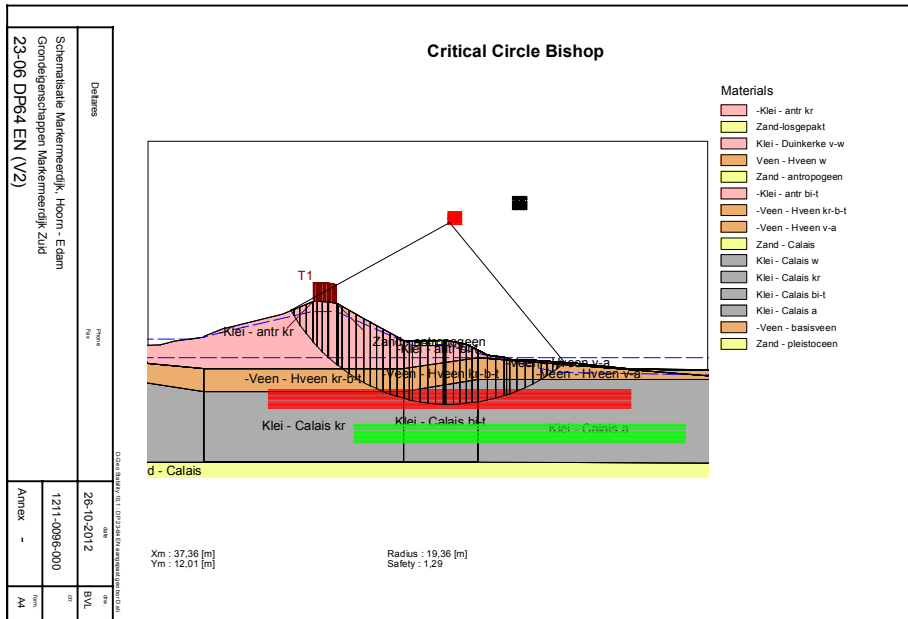


Dijk 23+64 Bishop V1, extreme neerslag

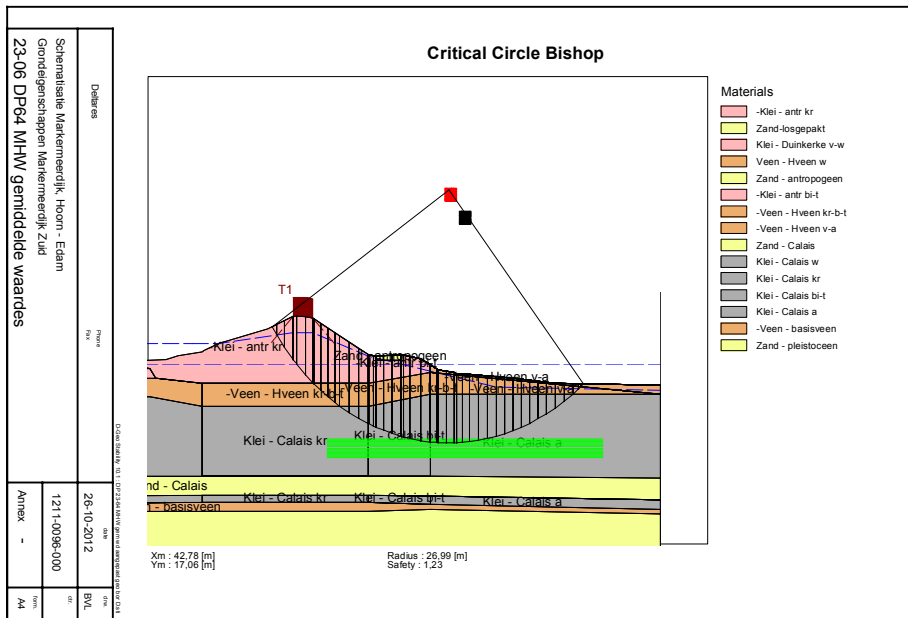


Dijk 23+64 Bishop V1, Maatgevend Hoogwater

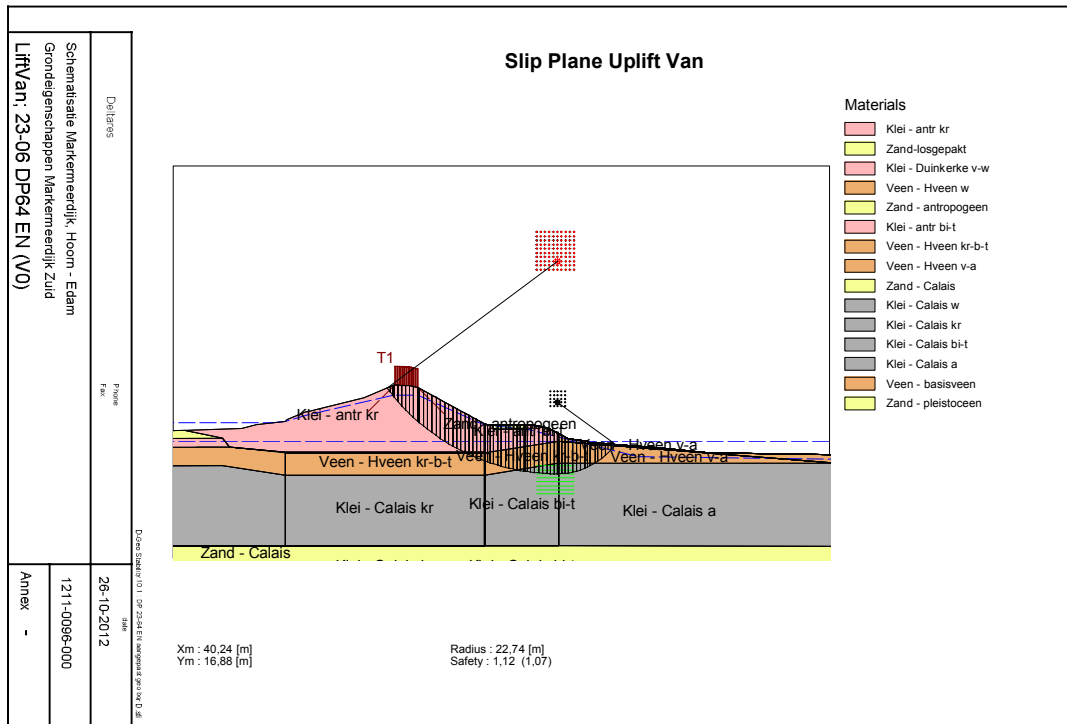




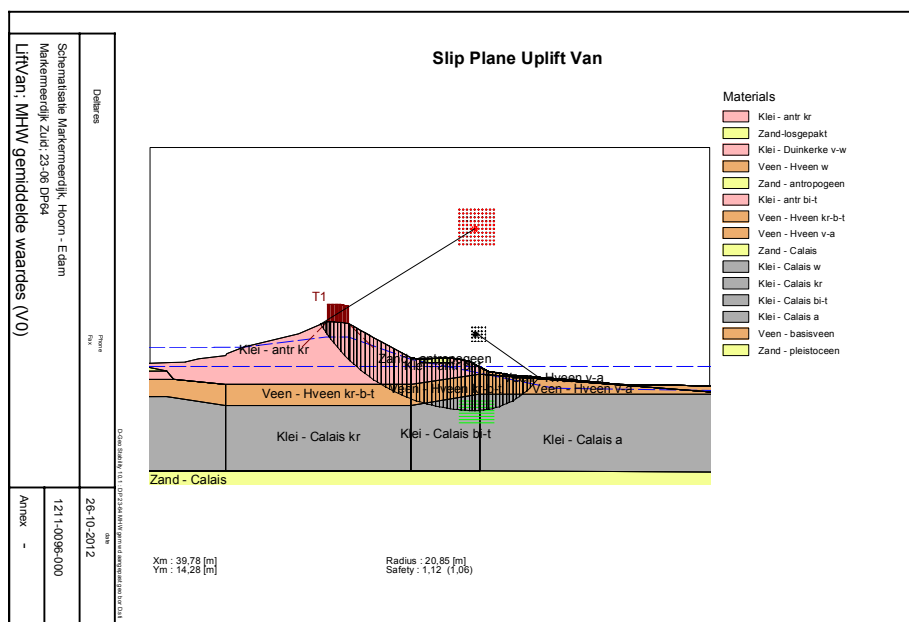
Dijk 23+64 Bishop V2, extreme neerslag



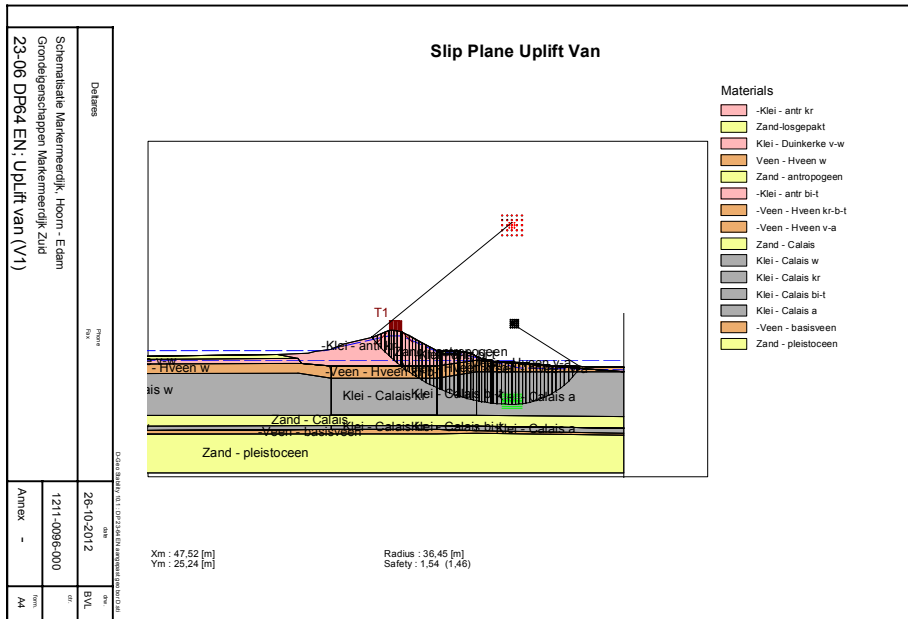
Dijk 23+64 Bishop V2, Maatgevend Hoogwater



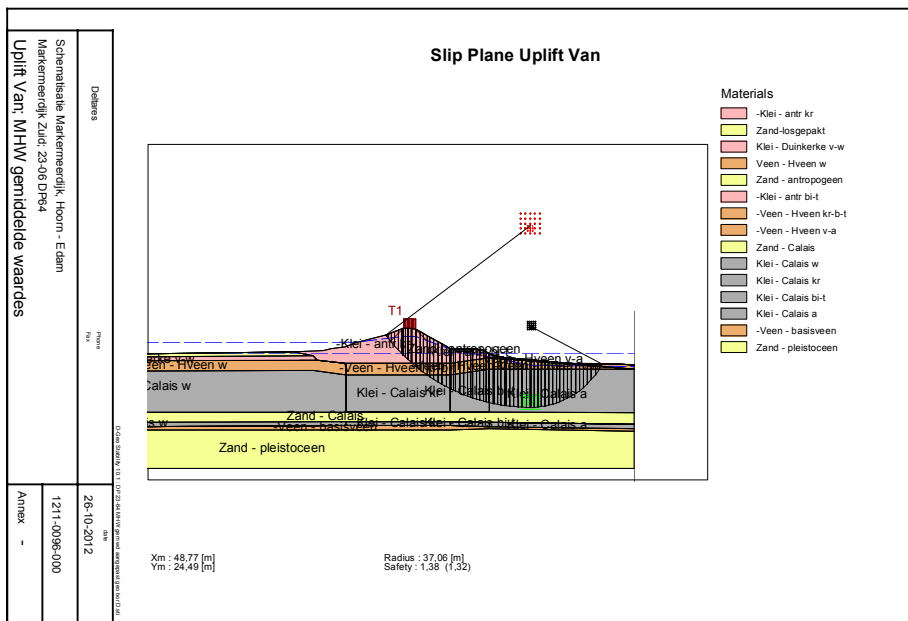
Dijk 23+64 Lift\_van V0, extreme neerslag



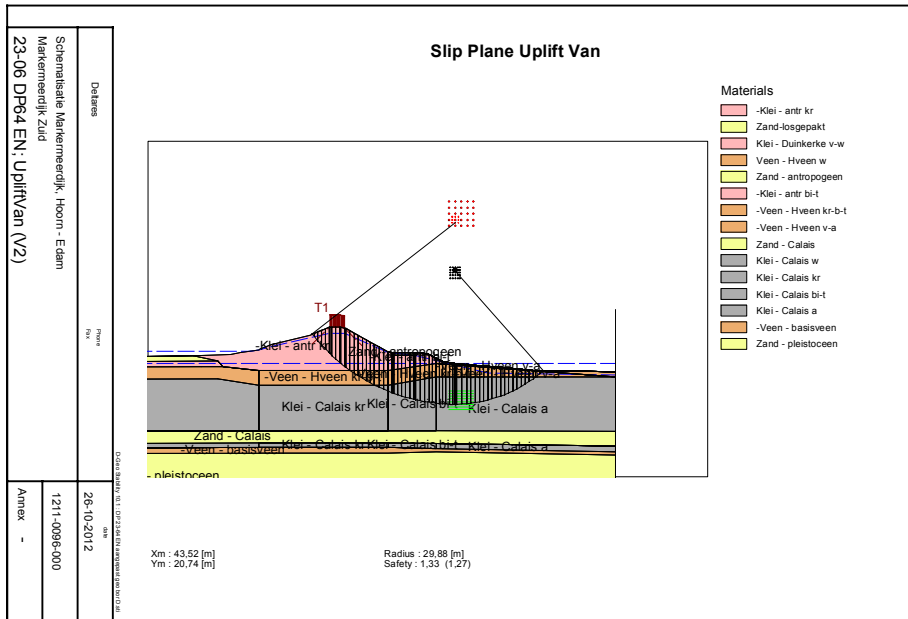
Dijk 23+64 Lift\_van V0, Maatgevend Hoogwater



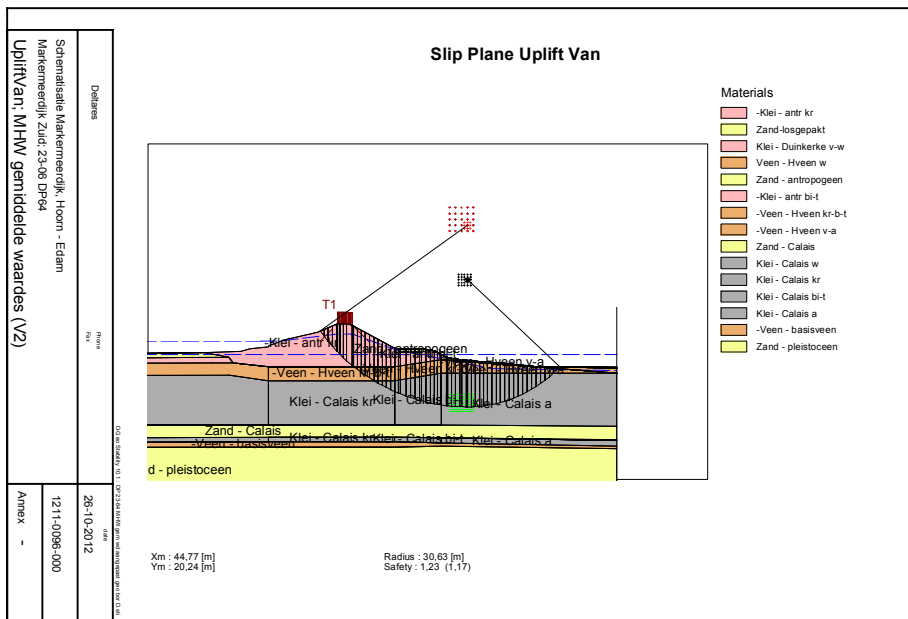
Dijk 23+64 Lift\_van V1, extreme neerslag



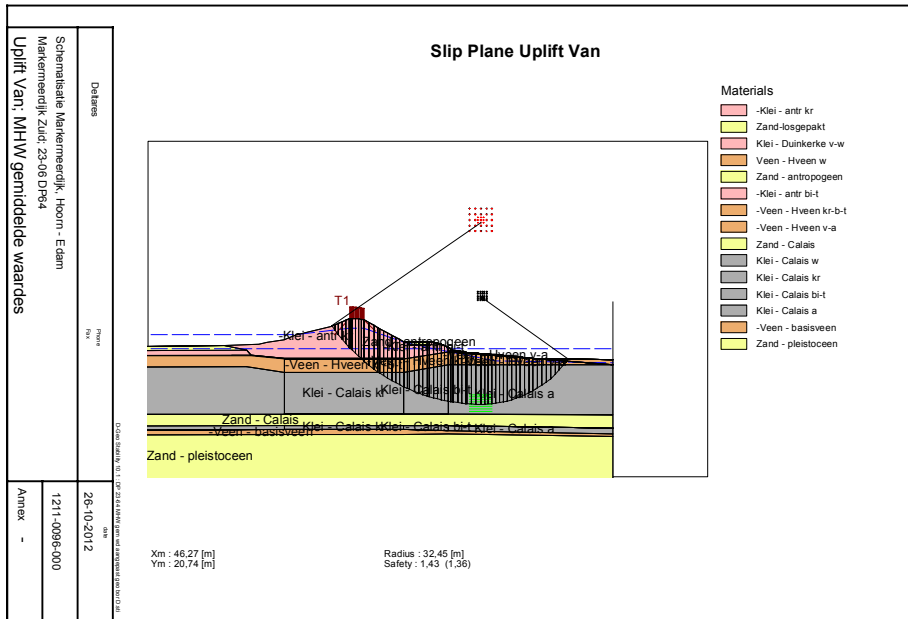
Dijk 23+64 Lift\_van V1, Maatgevend Hoogwater



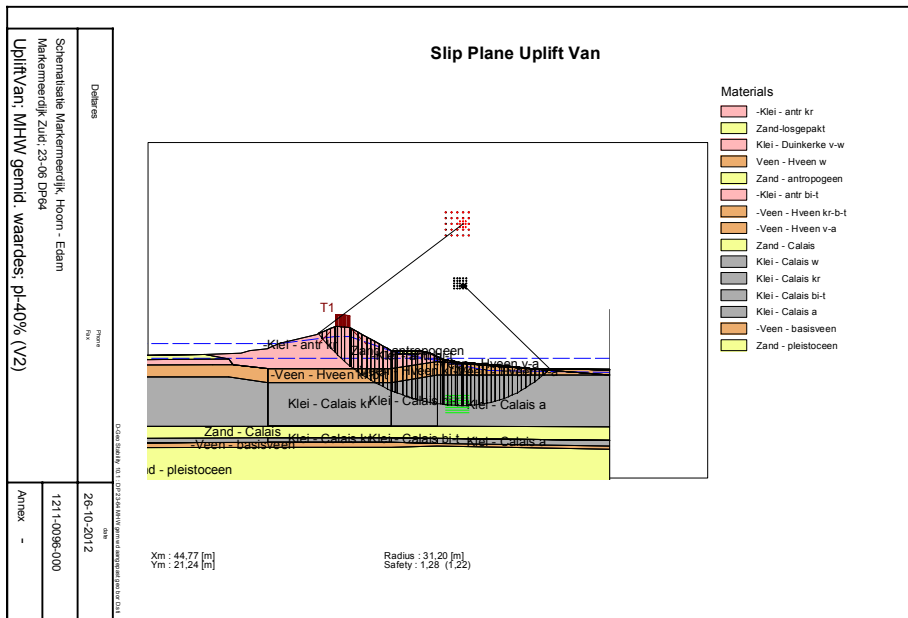
Dijk 23+64 Lift\_van V2, extreme neerslag



Dijk 23+64 Lift\_van V2, Maatgevend Hoogwater



Dijk 23+64 Lift\_van V1, Maatgevend Hoogwater 40 % respons



Dijk 23+64 Lift\_van V2, Maatgevend Hoogwater 40 % respons

## **J Grote triaxiaalproeven**

# **Dijken op veen**

**Factual report grote triaxiaalproeven**

ing. J.W.G. van der Vegt

1203768-017





**Titel**  
Dijken op veen

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
RWS Waterdienst	1203768-017	1203768-017-GEO-0007- gbh	12

**Trefwoorden**

Dijken op veen, sterkte van veen, parameterbepaling, grote triaxiaalproeven

**Samenvatting**




Er bestaat grote onduidelijkheid over de vraag hoe de sterkte van veen ten behoeve van de toetsing van bestaande waterkeringen moet worden bepaald en in berekeningen moet worden toegepast. Dit heeft geleid tot het onderzoeksprogramma Dijken op Veen. Een vergelijking tussen de conventionele laboratoriumproeven en Veldproeven speelt een belangrijke rol in het onderzoeksprogramma.

Om meer inzicht te krijgen in de schaalearbeiden die mogelijk een rol spelen bij het beproeven van veen zijn naast de conventionele laboratoriumproeven, kleine schaal, en de veldproeven, grote schaal, proeven op een mediumschaal uitgevoerd. Deze mediumschaal proeven betreffen triaxiaalproeven op monsters met een diameter van 40 cm en een hoogte van 80 cm. De grote triaxiaalproeven zijn op vergelijkbare wijze uitgevoerd als de conventionele proeven. Het enige verschil is de grootte van de afmetingen van de monsters.

Het rapport geeft de feitelijke beschrijving van in totaal 12 proeven. De analyse van de data en de vergelijking met de conventionele proeven is beschreven in de eindrapportage, 1203768-000-GEO-0027.

**Referenties**

RWS/WD-2011/1656, zaaknummer 31050474

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	jun. 2012	ing. J.W.G. van der Vegt		dr. ir. C. Zwanenburg		ir. L. Voogt	

**Status**

concept

Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.



## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Achtergrond onderzoeksproject Dijken op Veen	1
1.2 Doel van het onderzoek	2
1.3 Relatie met andere projectonderdelen	2
1.4 Overzicht van de rapportage	2
<b>2 Beschrijving uitvoering triaxiaalproef</b>	<b>3</b>
2.1 Inleiding	3
2.2 Steken veenmonsters	3
2.3 Proefopstelling grote triaxiaalcel	4
2.4 Instrumentatie	6
2.5 Proefprocedure grote triaxiaalproeven	6
2.5.1 Monsterpreparatie en opbouw triaxiaalcel	6
2.5.2 Consolidatie bij gevulde cel	7
2.5.3 Aanbrengen backpressure 300 kPa	7
2.5.4 B-factor bepalen	7
2.5.5 Effectieve druk aanbrengen	7
2.5.6 Isotrope en Anisotrope Consolidatie	7
2.5.7 Afschuiven (CU-proef)	7
2.5.8 Uitbouw	8
2.5.9 Metingen tijdens de proef	8
<b>3 Veenmonsters test 1 t/m 12</b>	<b>9</b>
3.1 Locatie van de monsters	9
3.2 Belastingprogramma	9
3.3 Volumegewicht en watergehalte	10
3.4 Beschrijving van het veen	10
3.5 Proefresultaten	10
3.6 Gebruikte symbolen	11
3.7 Verzamelgrafieken	11
Grafiek afschuiven: Axiale rek - $\sigma_w$	A-7
Grafiek afschuiven: Axiale rek - $\sigma_w$	B-6
Grafiek afschuiven: Axiale rek - $\sigma_w$	D-5
Grafiek afschuiven: Axiale rek - $\sigma_w$	G-5
<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A Monster T4-1</b>	<b>A-1</b>
<b>B Monster T4</b>	<b>B-1</b>
<b>C Monster T3-1</b>	<b>C-1</b>
<b>D Monster T3</b>	<b>D-1</b>
<b>E Monster T4-2</b>	<b>E-1</b>

<b>F Monster T5-1</b>	<b>F-1</b>
<b>G Monster T8-1</b>	<b>G-1</b>
<b>H Monster T8</b>	<b>H-1</b>
<b>I Monster T7</b>	<b>I-1</b>
<b>J Monster T6-3</b>	<b>J-1</b>
<b>K Monster T9</b>	<b>K-1</b>
<b>L Monster T9-1</b>	<b>L-1</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond onderzoeksproject Dijken op Veen

In het verleden werd de sterkte van grond, ten behoeve van de toetsing van de stabiliteit van waterkeringen, bepaald met behulp van de celproef. Enige jaren geleden is consensus ontstaan over het feit dat de celproef geen goede proef is voor het bepalen van de sterkte van grond. Tot op dit moment is er nog geen algemeen geaccepteerde vervanging voor de celproef. De controverse over de parameterbepaling is het grootst voor de sterkte eigenschappen van veen en sterk humeuze klei. De onduidelijkheid over de parameterbepaling zorgt, onder andere voor vertraging van dijkversterkingsprojecten. Een mogelijke wijziging in parameterbepaling op korte termijn zou dan mogelijk tot gevolg kunnen hebben dat recent versterkte dijken overgedimensioneerd zijn of opnieuw worden afgekeurd.

Het hierboven geschetste probleem doet zich onder andere voor bij de Markermeerdijk. Het traject Hoorn - Amsterdam Noord is afgekeurd en dient versterkt te worden. Het versterkingsontwerp heeft geresulteerd in lange stabiliteitsbermen. Langs het traject zijn enkele historische dorpskernen gelegen waar een dergelijke stabiliteitsberm lastig in te passen is. Het afkeuren en het relatief zware ontwerp is opmerkelijk omdat de waterkering in het recente verleden een Zuiderzeedijk is geweest en toen hogere waterstanden heeft gekeerd dan het huidige maatgevende hoogwater. Onder experts bestaat dan ook de indruk dat dijken op veenondergrond in de praktijk sterker (stabiel) zijn dan nu in rekenmodellen wordt aangenomen. Om dit te toetsen starten het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en Rijkswaterstaat met een veldproef. Het doel is om de sterkte van dijken op veen nauwkeuriger te onderzoeken. Met de resultaten wordt bekeken of de huidige rekenmodellen de sterkte van het veen adequaat beschrijven. Mogelijk leidt dit tot bijstelling van de rekenmodellen die op dit moment gebruikt worden voor het toetsen en ontwerpen van dijken. Het is belangrijk meer inzicht in het gedrag van het dijklichaam en ondergrond te krijgen zodat waar mogelijk de dijkversterking kan worden geoptimaliseerd. Deze optimalisatie leidt niet alleen tot kostenbesparing, maar maakt ook de omwonenden duidelijk dat alles is gedaan om het landschap te sparen en toch het geëiste veiligheidsniveau te garanderen.

Het materiaal veen wordt gekenmerkt door zijn vezelstructuur. Deze vezels kunnen een lengte hebben enkele centimeters. Conventionele laboratoriumproeven gaan uit van monsterafmetingen van circa 6,6 cm en afhankelijke van het type proef circa 13 cm hoogte. Bij de analyse van conventionele laboratoriumproeven wordt gebruik gemaakt van continuüm mechanica. Dit wil zeggen dat ondanks het feit dat grond, veen, bestaat uit meerdere componenten, vaste deeltjes, poriën en water, het geheel toch als één materiaal kan worden beschouwd. Met betrekking tot de geldigheid van deze aanname wordt vaak de vuistregel gebruikt dat de grootste afmeting van het grootste deeltjes kleiner dan 1/10 van de kleinste afmeting van het monster dient te zijn. Indien in het monster grotere deeltjes aanwezig zijn, zou de toevallige rangschikking van de deeltjes bepalend zijn voor het resultaat van de proef.

Het is duidelijk dat de grootte van de vezels in veen niet voldoet aan de hierboven genoemde vuistregel. Om een indruk te krijgen van de invloed van het niet voldoen aan de vuistregel is een serie grote triaxiaalproeven uitgevoerd. Door het uitvoeren van grote triaxiaalproeven kan worden nagegaan of een deel van de spreiding die in de resultaten van conventionele triaxiaalproeven wordt gevonden wellicht is terug te voeren tot de afmetingen van het monster in relatie tot de grootte van de deeltjes.

Centraal in het onderzoek Dijken op Veen staat de vergelijking tussen de verschillende soorten conventionele laboratoriumproeven en veldproeven. Dit een vergelijking tussen kleine schaal en grote schaal. De grote triaxiaalproeven kunnen worden beschouwd als mediumschaal proeven.

## **1.2 Doel van het onderzoek**

Het doel van het onderzoek is de invloed van schaalgrootte op de resultaten van triaxiaalproeven op veen vast te stellen. Deze rapportage heeft tot doel de uitvoering van de proeven vast te leggen. Een analyse van de resultaten wordt in nakomende rapportages beschreven.

## **1.3 Relatie met andere projectonderdelen**

Het onderzoek wordt in een aantal stappen uitgevoerd. Deze stappen zijn afzonderlijk gerapporteerd. De uitvoering van de grote triaxiaalproeven is parallel aan de uitvoering van de conventionele laboratoriumproeven en veldproeven uitgevoerd. Rapportages binnen het project Dijken op Veen die direct raken aan de uitvoering van de grote triaxiaalproeven zijn:

- Plan van Aanpak, documentnummer 1203768-001-GEO-001, d.d. maart 2011, dit document beschrijft de doelen van het onderzoek dijken op veen en geeft hoe de veldproeven aan dit doel bijdragen
- Dijken op Veen, factual report laboratoriumproeven, rapportnummer 1203768-005-GEO-0002, d.d. maart 2012
- Dijken op Veen, eindrapport rapportnummer 1203768-000-GEO-0027 juni 2012.

## **1.4 Overzicht van de rapportage**

In hoofdstuk 2 wordt de opzet van de proefopstelling en de wijze van proefuitvoering beschreven. In hoofdstuk 3 geeft een korte beschrijving van de monsters en een samenvatting van de resultaten. De resultaten per proef zijn beschreven in de bijlagen.

## 2 Beschrijving uitvoering triaxiaalproef

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het steken van de veenmonsters op de proeflocatie, de gebruikte proefopstelling in de meethal van Deltares en de proefprocedure.

### 2.2 Steken veenmonsters

Het steken van de veenmonsters is uitgevoerd met een metalen steekbus met snijrand. Deze bus heeft een inwendige diameter van 40 centimeter en een lengte van 1 meter. Op deze bus is een plaat geplaatst waarna de bus met een gelijk verdeelde belasting door een hydraulische kraan loodrecht op de grond is weggedrukt, zie Figuur 2.1. Door gebruik te maken van een pers tussen de kraan en de steekbus kan de bus verticaal worden gestoken. De monsters hebben voor het uitvoeren van de triaxiaalproef een uiteindelijke hoogte nodig van ca. 80 centimeter; door een bus met een lengte van een meter te gebruiken is er voldoende overhoogte om het monster te trimmen om aldus een monster met vlakke boven en onderkant te verkrijgen.



Figuur 2.1 Foto impressie steken van de monsters

De monsters zijn in de toplaag gestoken, net onder de grondwaterstand. Voorafgaand aan het steken is de toplaag verwijderd. Na het wegdrucken is de bovenzijde van de bus ingemeten. De dieptes zijn weergegeven in paragraaf 3.1.

Belangrijk bij het wegdrucken van bussen ten behoeve van monsternamen is het steekverlies. Het steekverlies is het hoogte verschil van het omringende maaiveld met de bovenkant van het monster in de steekbus nadat de bus volledig is weggedrukt. Indien, bijvoorbeeld als gevolg van wrijving tussen de bus en het monster, het monster samendrukt tijdens het steken zal het hoogteverschil tussen het omringende maaiveld en de bovenkant van het monster

groot zijn. Een aldus samengedrukt monster zal in verminderde mate representatief zijn voor het oorspronkelijke veen, voordat het gestoken werd. Het steekverlies is daarmee een maat voor het verstoren van het monster als gevolg van het steken. Hoe kleiner het steekverlies hoe beter het monster is gestoken. Het steekverlies van elk van de monsters is gegeven in paragraaf 3.1. Er zijn geen voorschriften met betrekking tot het steekverlies. Er is dus geen maat voor het maximaal toelaatbare steekverlies. Echter, de waarden die in paragraaf 3.1 worden genoemd zijn klein ten opzichte van de totale steeklengte van 1,0 m. Van de eerste serie monsters is het steekverlies niet genoteerd. Figuur 2.2 geeft een impressie van het steekverlies.



Figuur 2.2 Impressie steekverlies

Na het steken zijn de monsters aan onder en bovenzijde afgedicht en verticaal getransporteerd naar het laboratorium van Deltares. De monsters zijn opgeslagen in een temperatuur geconditioneerde ruimte, 10 °C. Tevens zijn de monsters vochtig gehouden. Voor een goede kwaliteit van de monsters dient de tijd tussen het steken van de monsters en het uitvoeren van de proeven zo kort mogelijk te zijn. Hiertoe zijn de monsters in drie series gestoken. De eerste serie bestond uit het steken van 7 bussen, gevolgd door een serie van 6 en later een serie van 5 bussen. De locatie van de monsternamen is opgenomen in het totaal overzicht van het uitgevoerde veldwerk.

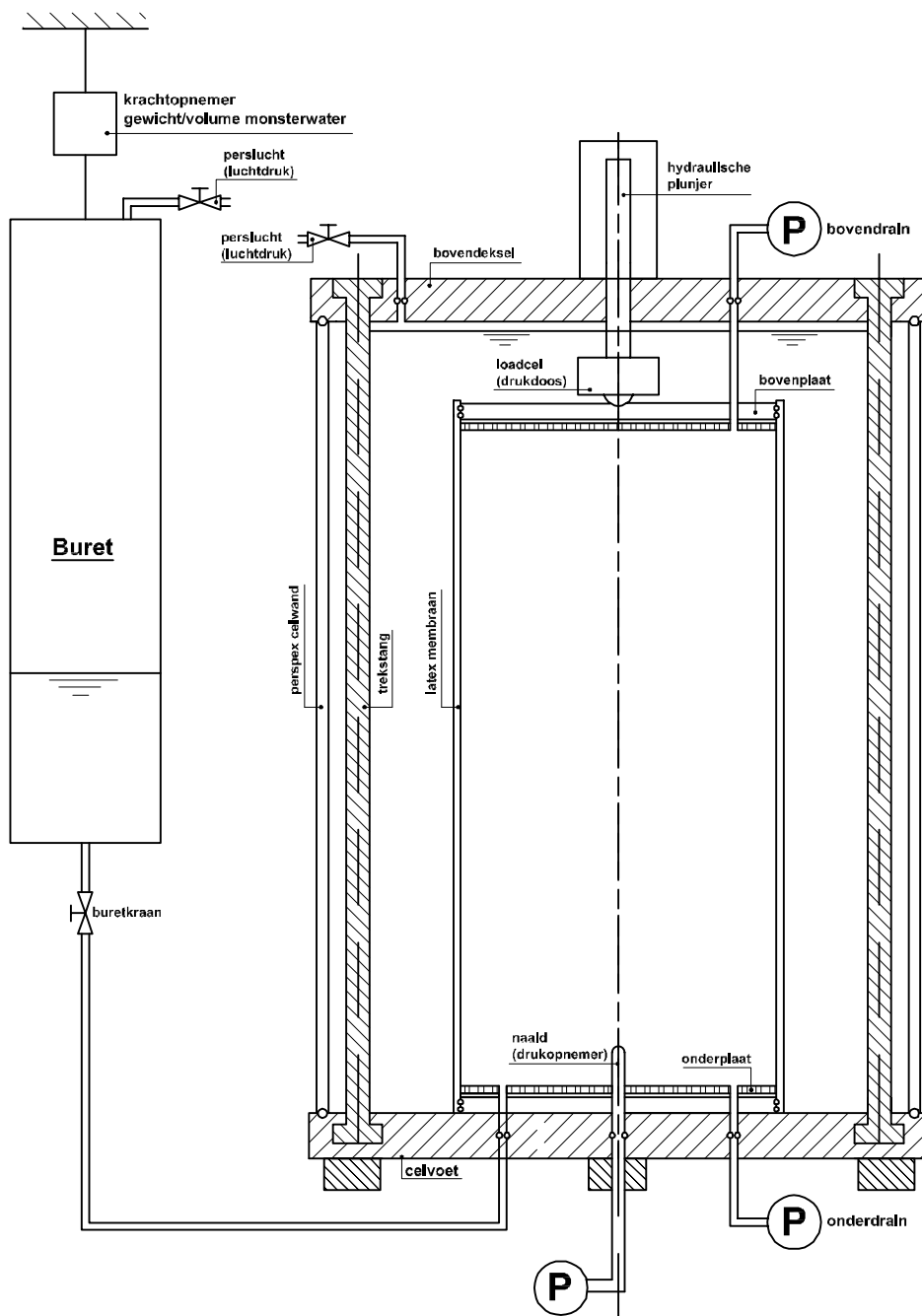
### 2.3 Proefopstelling grote triaxiaalcel

De proefopstelling voor de uitgevoerde proeven is een grote diameter triaxiaalcel. In deze cel kan een grondmonster met een diameter van maximaal 40 centimeter en een hoogte van maximaal 80 centimeter worden beproefd. Het monster wordt beproefd terwijl het opgesloten is tussen een stijve onder- en bovenplaat met een rubber vlies om het monster heen. Om de consolidatie te bespoedigen zijn rondom het monster 6 stroken filterdoek geplaatst die de op de boven- en onderkant geplaatste cirkelvormige stukken filterdoek met elkaar verbinden. Op het monster wordt een verticale druk uitgeoefend door middel van een hydraulische plunjer die de bovenplaat op het monster perst. De horizontale alzijdige druk wordt op het monster uitgeoefend door water tussen de celwand en het monster. Het eerder genoemde rubber vlies beschermt het monster tegen indringing van water vanuit de cel en maakt effectieve druk in het monster mogelijk.



De volumeverandering tijdens de consolidatiefase wordt gemeten door het uitstromende monsterwater op te vangen in een buret. Het gewicht van deze buret met water is één van de meetwaarden. Meting van de hoogte van het monster tijdens de belastingsfase gebeurt door de verplaatsingsopnemer in de plunjer. De druk in het monster wordt gemeten met een waterspanningsmeter die via een naald de druk op ca 10 cm boven het onderfilter zichtbaar maakt. Bovendien wordt de druk aan het bovenfilter gemeten. In het verloop van de proevenserie zijn ook een opnemer aan het onderfilter en een opnemer voor de effectieve druk (verschil tussen cel en onderfilter) aangebracht.

Om de proefopstelling zo min mogelijk bloot te stellen aan temperatuurswisselingen is de triaxiaalcel in een klimaattent geplaatst en voorzien van airconditioning ingesteld op 18°C.



## 2.4 Instrumentatie

De diverse te registreren parameters zijn tijdens de proeven vastgelegd met van tevoren gekalibreerde opnemers.

Te meten item	Opnemer
Door plunjer uitgeoefende kracht op monster	Krachtopnemer, bereik 200 kN
Verplaatsing van plunjer	Verplaatsingsopnemer, bereik 50 cm
Celdruk	Drukopnemer, bereik 6 bar
Drainagedruk bovenkant monster	Drukopnemer, bereik 6 bar
Drainagedruk onderkant monster *	Drukopnemer, bereik 6 bar
Druk in monster (via naald in onderkant monster)	Drukopnemer, bereik 6 bar
Effectieve druk op monster **	Verschildrukopnemer, bereik 2 bar
Gewicht van in- of uitgestroomde monsterwater	Krachtopnemer, bereik 5 kN
Temperatuur in klimaattent	Pt100, bereik 0 – 200 °C

Tabel 2.1 Gebruikte instrumentatie

\* Opnemer toegevoegd vanaf proef T5-1

\*\* Opnemer toegevoegd vanaf proef T8-1

## 2.5 Proefprocedure grote triaxiaalproeven

De proefprocedure zoals hieronder beschreven omvat alle activiteiten en handelingen die tijdens de uitvoering van een proef moeten worden gedaan. De proefprocedure is zoveel mogelijk in overeenstemming met de uitvoering van conventionele proeven.

### 2.5.1 Monsterpreparatie en opbouw triaxiaalcel

De steekbus met monster wordt uit de koelcel gehaald en horizontaal gelegd waarna de beide deksels verwijderd worden. De initiële hoogte van het monster in de steekbus wordt gemeten waarna het monster op de voor de proef benodigde hoogte wordt afgetrimd en de boven- en onderkant gevlakt worden. In deze horizontale positie wordt vervolgens de onderkant van het monster voorzien van het filterdoek en de filterplaat waartussen ook de uiteinden van de 6 stroken filterdoek zijn gestoken die de filterdoeken aan de onder- en bovenkant van het monster met elkaar gaan verbinden. Hierna wordt het monster rechtop gezet en op de met water gevulde celbodem geplaatst, hierbij wordt ook gelijk de naald in het monster gestoken die de druk in het monster meet.

Het rubber vlies wordt nu over de bus heen geschoven en bevestigd aan de celbodem waarna de celwand geplaatst wordt. De cel wordt tot de onderkant van het monster gevuld en de drukopnemers voor Celdruk, Monsterdruk en Drainagedruk (onder) worden getarreed.

Hierna wordt de cel langzaam verder gevuld tot enkele centimeters onder de bovenkant van het monster waarbij tegelijkertijd langzaam de steekbus omhoog getrokken wordt tot het monster zelfstandig rechtop in de cel staat met steundruk van het celwater.

Vervolgens worden de 6 stroken filterdoek omgevouwen op de bovenkant van het monster en wordt het cirkelvormige filterdoek op de bovenkant van het monster geplaatst waarna de bovenfilterplaat en het deksel volgen. Het rubbervlies wordt aan het deksel bevestigd waardoor het monster nu hermetisch gescheiden is van het celwater.

De waterstand in de cel wordt verhoogd tot 20 centimeter boven het monster en het deksel van de triaxiaalcel wordt geplaatst. De waterstand in de buret wordt ingeregeld op 10 cm onder de waterstand in de cel waarna de verbinding tussen het monster en de buret gemaakt kan worden. De overige opnemers, de hydrauliek aansluitingen, de klimaattent en airco worden vervolgens aangesloten/geplaatst waarna de opstelling gereed is voor de proef.

- 2.5.2 Consolidatie bij gevulde cel  
Wachten tot de metingen van de diverse drukopnemers, het gewicht van het in- of uitgestroomde water en de temperatuur constant zijn.
- 2.5.3 Aanbrengen backpressure 300 kPa  
Het doel van het aanbrengen van een backpressure is het verlagen van de hoeveelheid lucht in het monster. Door zowel de celdruk als de druk in het monster, via de buret, te verhogen blijft de effectieve spanning gelijk. De celdruk en de druk in de buret worden in stappen opgevoerd naar 300 kPa. De volgende stap wordt pas uitgevoerd als de diverse drukopnemers en het gewicht van het in- of uitgestroomde water een constante waarde hebben aangenomen.
- 2.5.4 B-factor bepalen  
De B-factor is een maat voor de verzadiging van het monster. De drainagekraan tussen de buret en het monster wordt dichtgezet waarna de celdruk wordt verhoogd met ca. 10 kPa. Na deze verhoging moeten de diverse drukmetingen minstens een half uur constant zijn voordat de celdruk weer wordt verlaagd tot het oorspronkelijke niveau. De B-factor wordt bepaald en de plunjer wordt geplaatst.
- 2.5.5 Effectieve druk aanbrengen  
De drainagekraan wordt dichtgezet en de celdruk wordt opgevoerd tot de gewenste effectieve druk is bereikt. Wanneer de diverse drukopnemers constante waarden aangeven kan de consolidatie worden gestart.
- 2.5.6 Isotrope en Anisotrope Consolidatie

**Isotrope consolidatie:**

Na het aanbrengen van de effectieve druk wordt de drainagekraan tussen buret en monster opengezet waardoor het poriewater kan uitstromen naar de buret. Wanneer de diverse drukmetingen en het gewicht van het in- of uitgestroomde water een constante eindwaarde hebben bereikt is deze fase afgesloten. Tijdens de bovenstaande consolidatiefase is het van belang dat de plunjer middels handmatige bediening het monster blijft "volgen" waarbij er echter geen kracht door de plunjer uitgeoefend mag worden. Door deze actie wordt voorkomen dat het monster scheef zakt.

**Anisotrope consolidatie:**

Na de isotrope consolidatie is vervolgens voor een aantal proeven een anisotrope consolidatie uitgevoerd met als doel een verhouding tussen horizontale en verticale spanning van  $K_0 = 0.3$  te bereiken. Na afloop van de isotrope consolidatie is hiertoe de plunjer krachtgestuurd op het monster gezet en is de plunjer in stappen naar de eindwaarde gestuurd terwijl de drainagekraan tussen de buret en het monster open stond. Wanneer de eindwaarde van de kracht bereikt is en de plunjerverplaatsing en het gewicht van het uitgestroomde water een constante eindwaarde hebben bereikt (verticale rek en volumerek beide kleiner dan 0.3 % per dag) is deze fase afgesloten.

- 2.5.7 Afschuiven (CU-proef)  
Na de consolidatiefase(n) wordt de drainagekraan dichtgezet en worden de instellingen voor het verplaatsingsgestuurd wegdrukken van de plunjer berekend. De belastingssnelheid van 2% van de hoogte (na de consolidatiefase) per uur is afgeleid uit de laboratoriumproeven op kleine monsters. De te bereiken eindwaarde van de verplaatsing van de plunjer wordt in overleg vastgesteld, dit kan een percentage vervorming zijn of de maximale plunjerslag.

## 2.5.8 Uitbouw

De klimaattent, de opnemers, de hydrauliek en de aansluiting met de buret worden verwijderd/losgekoppeld. Het celwater wordt afgevoerd waarna de celwand verwijderd kan worden. Het monster blijft ingepakt in het rubber vlies tot het moment dat het monster stukje voor stukje onderzocht kan worden op schuifvlakken en andere bijzonderheden waarbij gedurende het hele traject foto's worden gemaakt van het veenmonster. Er worden drie monsters genomen van de bovenkant, het midden en de onderkant van het monster voor de bepaling van het watergehalte na de proef. Na deze analyse wordt de cel schoongemaakt en in gereedheid gebracht voor de volgende proef.

## 2.5.9 Metingen tijdens de proef

Vanaf de start van de consolidatie (paragraaf 2.3.2) tot en met het afschuiven (paragraaf 2.3.7) worden alle waarden van de aangesloten opnemers vastgelegd door het data-acquisitie systeem. Tijdens de afschuiving (paragraaf 2.3.7) vindt ook videoregistratie plaats. Voor een overzicht van de instrumentatie, zie paragraaf 2.2.1

### 3 Veenmonsters test 1 t/m 12

In dit hoofdstuk wordt het verloop van de proeven beschreven.

#### 3.1 Locatie van de monsters

De monsters zijn op de volgende locaties gestoken:

Proef	Monster	X-coördinaat	Y-coördinaat	Z-coördinaat	Steekverlies
1	T4-1	133530.440	492849.235	-1.765	5 cm
2	T4	133530.498	492848.405	-1.728	4 cm
3	T3-1	133506.999	492876.477	-1.719	5 cm
4	T3	133481.794	492870.201	-1.708	4 cm
5	T4-2	133554.974	492854.972	-1.788	4 cm
6	T5-1	133553.315	492887.751	-1.708	5 cm
7	T8-1	133523.846	492897.956	-1.716	4 cm
8	T8	133523.613	492898.910	-1.733	5 cm
9	T7	133545.622	492903.518	-1.704	4 cm
10	T6-3	133445.094	492817.522	-1.615	3 cm
11	T9	133499.113	492893.109	-1.712	4 cm
12	T9-1	133499.308	492891.960	-1.720	5 cm
-	T7-1	133546.467	492903.670	-1.670	5 cm
-	T6-1	133455.214	492819.349	-1.709	4 cm
-	T6-2	133445.876	492818.187	-1.662	4 cm
-	T6-4	133431.623	492814.738	-1.655	2 cm
-	T6-5	133430.381	492814.951	-1.693	5 cm

De X en Y zijn gegeven in RD coördinaten en de Z is de bovenkant van het monster na het steken, in m t.o.v. de NAP

#### 3.2 Belastingsprogramma

Het hele programma bestaat uit de volgende proeven:

No	Datum	Monster	$\sigma_h'$ [kPa]	$\sigma_v'$ [kPa]	Consolidatie
1	01-12-2011	T4-1	6	6	Isotroop
2	14-12-2011	T4	6	6	Isotroop
3	21-12-2011	T3-1	6	6	Isotroop
4	02-01-2012	T3	6	6	Isotroop
5	09-01-2012	T4-2	6	6	Isotroop
6	16-01-2012	T5-1	6	6	Isotroop
7	23-02-2012	T8-1	10	33.33	Anisotroop
8	05-03-2012	T8	10	33.33	Anisotroop
9	21-03-2012	T7	15	50	Anisotroop
10	12-04-2012	T6-3	20	66.67	Anisotroop
11	25-04-2012	T9	15	50	Anisotroop
12	11-05-2012	T9-1	20	66.67	Anisotroop

$\sigma_h'$  = effectieve horizontale spanning

$\sigma_v'$  = effectieve verticale spanning

### 3.3 Volumegewicht en watergehalte

Van de verschillende veenmonsters is het volumegewicht bepaald. In onderstaande tabel zijn ook de gemiddelde watergehalten vóór en na de proef gegeven.

No	Monster	Volumegewicht vóór proef [t/m <sup>3</sup> ]	Watergehalte vóór proef [%]	Volumegewicht na proef [t/m <sup>3</sup> ]	Watergehalte na proef [%]
1	T4-1	1.023	682.8		868.7
2	T4	0.859			766.4
3	T3-1	0.993	957.5	0.942	906.5
4	T3	0.984		1.117	872.1
5	T4-2	1.013	788.2	0.939	813.8
6	T5-1	0.988	901.3	0.969	785.3
7	T8-1	1.035	818.8	1.010	567.4
8	T8	0.996	987.4	0.949	562.0
9	T7	0.984	940.5	1.007	547.8
10	T6-3	1.050	1067.2	0.978	448.2
11	T9	0.981	976.3	0.989	470.6
12	T9-1	1.029	838.8	1.007	420.5

### 3.4 Beschrijving van het veen

Het beproefde veen bestaat uit voornamelijk zeggeveen (monster T5 grotendeels, T8-1 voor meer dan 60 %) met en binnen de monsters wisselende bijdrage van voornamelijk veenmosveen en gerelateerde plantenresten (oligotroof veen) en plaatselijk weinig rietveen (T3 bevat tot 5 % herkenbare rietplantenresten). Veenmosveen en lensen en lagen van gerelateerd veen zijn in de monsters zijn tot 0.3 m dik. Opvallend zijn de voorlopig als wollegraspollen geïdentificeerde plantenresten die relatief zeer taaie en stevige plakken van 0.3 m diameter en tot 50 mm dikte zijn; monster T8 bestaat voor minstens 20 % uit dergelijke polen. Resten van rietplanten komen zeer lokaal in de monsters voor. Houtresten van bomen (berk, els) komen in alle monsters voor, met name in T6-3 en T9.

In monster T4-1 is een kleilaagje van 10 -20 mm dikte aanwezig bij de basis. Monster T4 is een voorbeeld van een monster waarin zowel een kleilaagje als een laagje houtig veen, veenmosveen, een laag met veel heideresten en een laag met veel rietresten aanwezig is. Het is een mooi voorbeeld van hoe alle soorten veen bij elkaar binnen enige decimeters voorkomen. (In het veld in de kuilen zijn de trends in veenopbouw beter te herkennen).

### 3.5 Proefresultaten

De resultaten van de proeven zijn verzameld in de bijlagen 1 t/m 12, per proef zijn de volgende onderdelen gepresenteerd:

- Foto's van het monster.
- Watergehalten voor de proef.
- Watergehalten na de proef.
- Hoogtemetingen.
- Gewicht.
- B-factor.
- Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure.
- Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd.
- Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd.

- Grafiek afschuiven:  $p' - q$ .
- Grafiek afschuiven: Axiale rek -  $q$ .
- Grafiek afschuiven:  $\sigma_1' - \sigma_3'$ .
- Grafiek afschuiven:  $s' - t$ .

### 3.6 Gebruikte symbolen

$\sigma_1'$  = Effectieve verticale spanning [kPa]

$\sigma_3'$  = Effectieve horizontale spanning [kPa]

$p' = (\sigma_1' + 2 \times \sigma_3') / 3$  [kPa]

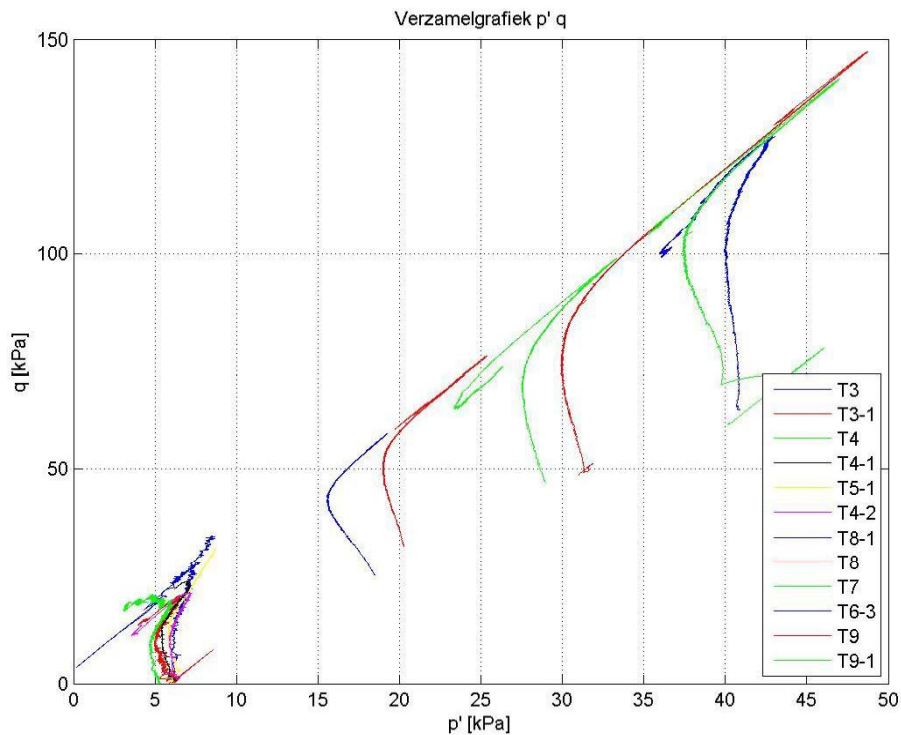
$q = \sigma_1' - \sigma_3'$  [kPa]

$s' = (\sigma_1' + \sigma_3') / 2$  [kPa]

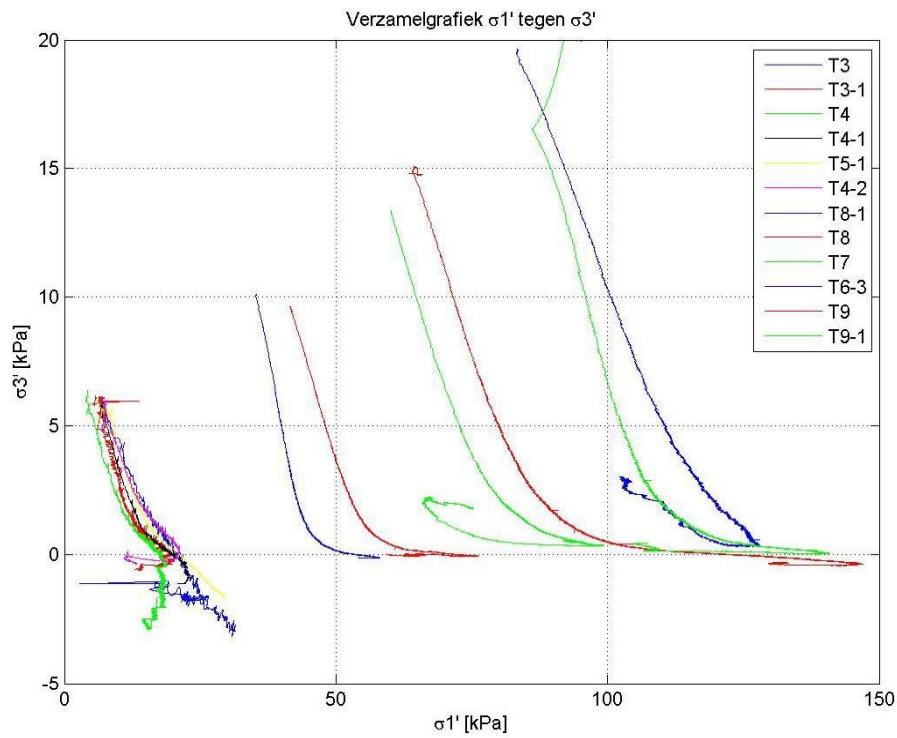
$t = (\sigma_1' - \sigma_3') / 2$  [kPa]

### 3.7 Verzamelgrafieken

De  $p' - q$  en de  $\sigma_1' - \sigma_3'$  spanningspaden zijn samengebracht in verzamelgrafieken



Figuur 3.1 Spanningspaden van de uitgevoerde proeven



Figuur 3.2 Verloop horizontale effectieve spanning,  $\sigma_3'$  en de verticale effectieve spanning  $\sigma_1'$  tijdens de afschuiffase



## A Monster T4-1

Foto's van het monster, na de proef





## Watergehaltes voor de proef

ID nummer monsterbakje	B16	C72	A18	A34	X15	H5
Gewicht monsterbakje (gr)	78,97	82,22	89,47	81,82	95,21	95,07
Totaalgewicht nat (gr)	308,65	355,21	203,48	243,58	313,84	215,23
Totaalgewicht droog (gr)	110,40	115,88	100,90	100,63	119,98	124,01
Gewicht verdampt water (gr)	198,25	239,33	102,58	142,95	193,86	91,22
Oorspronkelijk watergehalte (%)	630,77	711,02	897,46	759,97	782,64	315,20

## Watergehaltes na de proef

ID nummer monsterbakje	GL99	C36	A33	F50
Gewicht monsterbakje (gr)	81,77	83,57	81,09	83,07
Totaalgewicht nat (gr)	364,47	496,51	524,23	550,07
Totaalgewicht droog (gr)	108,85	126,03	128,64	133,49
Gewicht verdampt water (gr)	255,62	370,48	395,59	416,58
Oorspronkelijk watergehalte (%)	943,94	872,54	831,95	826,22

## Hoogte en gewicht monster na trimmen

Hoogte 81,5cm bij Ø40cm

Gewicht 100,1kg

**B-factoren**

	<b>P cel</b>	<b>P drain</b>	<b>P monster</b>	<b>B-factor (Pdrain/Pcel)</b>	<b>B-factor (Pmonster/Pcel)</b>
<b>Startwaarde</b>	309,60	295,76	295,44		
<b>Eindwaarde</b>	319,80	306,06	305,68		
<b>Verschildruk</b>	10,20	10,30	10,24		
<b>B-factoren</b>				1,01	1,00
<b>Startwaarde</b>	319,80	306,06	305,68		
<b>Eindwaarde</b>	310,30	296,50	296,20		
<b>Verschildruk</b>	-9,50	-9,56	-9,48		
<b>B-factoren</b>				1,01	1,00

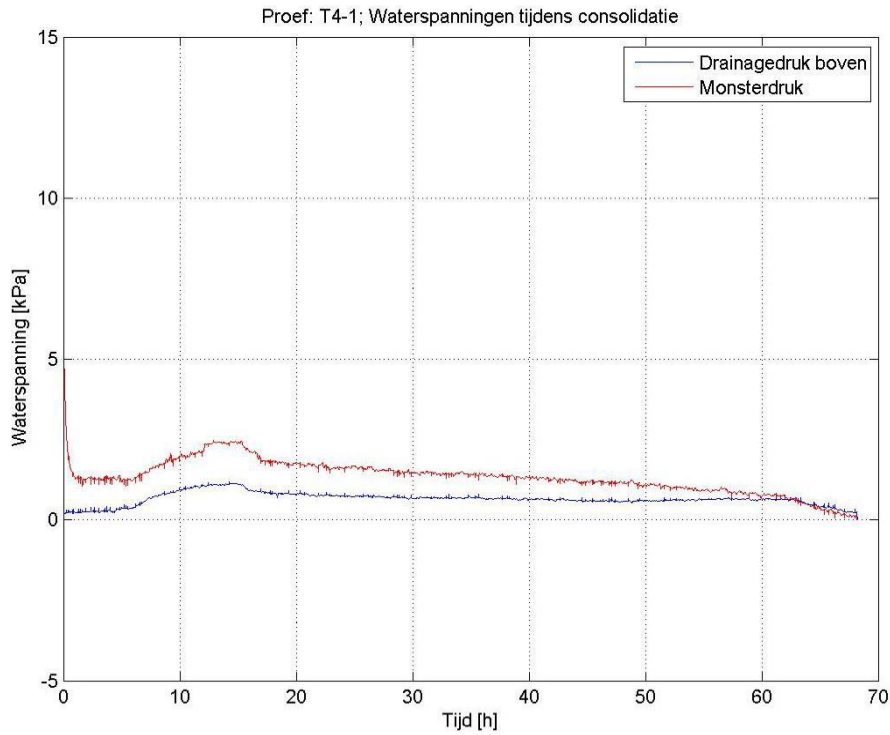
**Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure**

Bij aanbrengen back pressure is de verbinding tussen buret en cel pas bij 85kPa geopend.

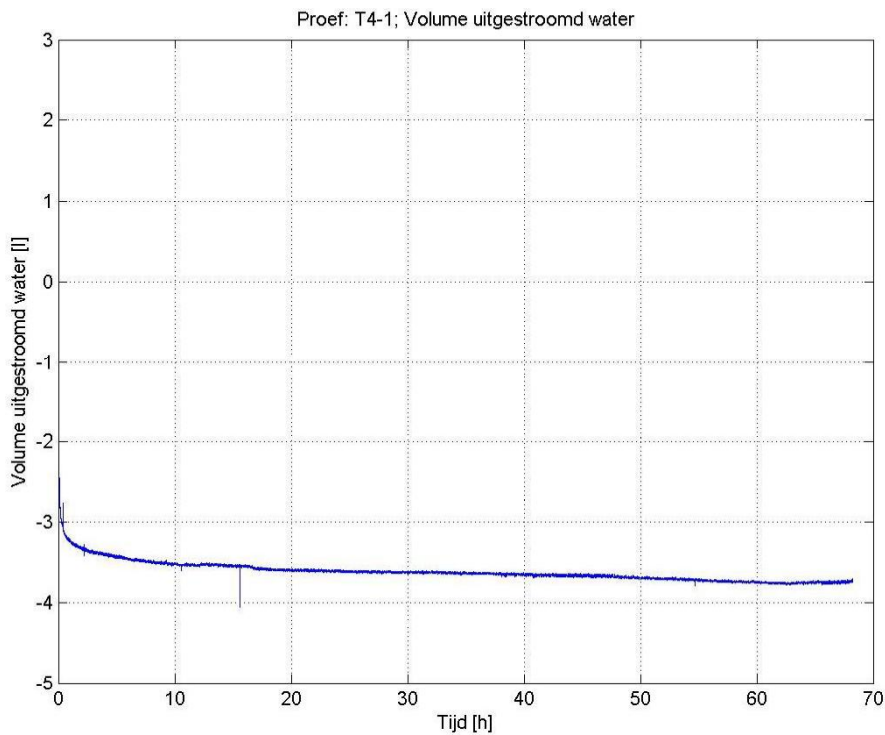
Consolidatiefase eerste keer afgebroken doordat de slang tussen buret en cel te stijf was, hierdoor ontstond beïnvloeding van gewicht in-/uitgestroomd monsterwater. Na vervangen slang is de consolidatie voortgezet.

Drukmeting in monster via naald verloopt gedurende de proef niet optimaal, naald verstopt door veen.

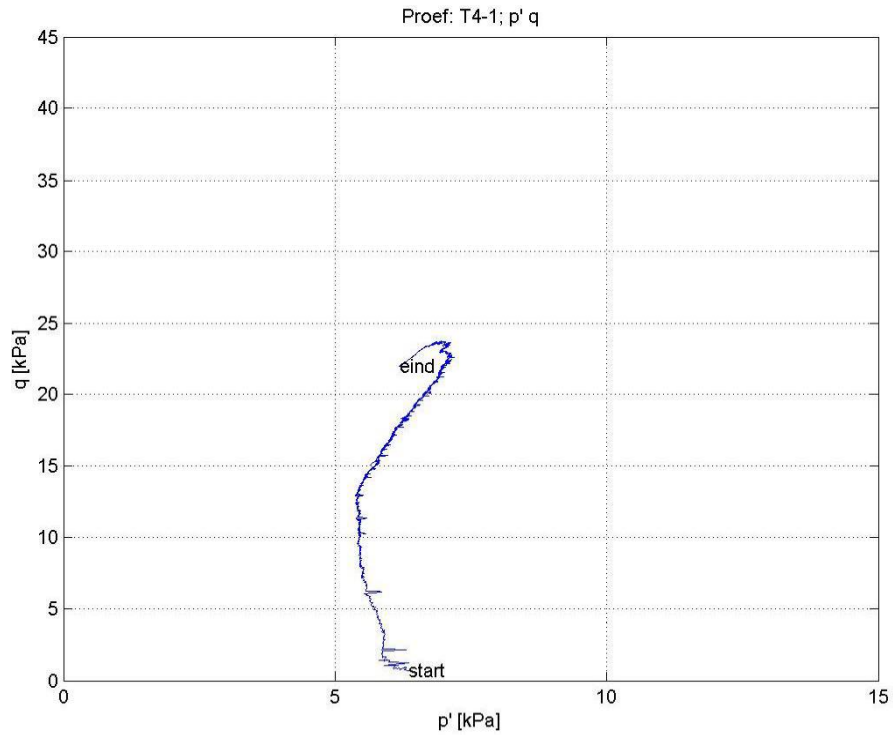
## Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd



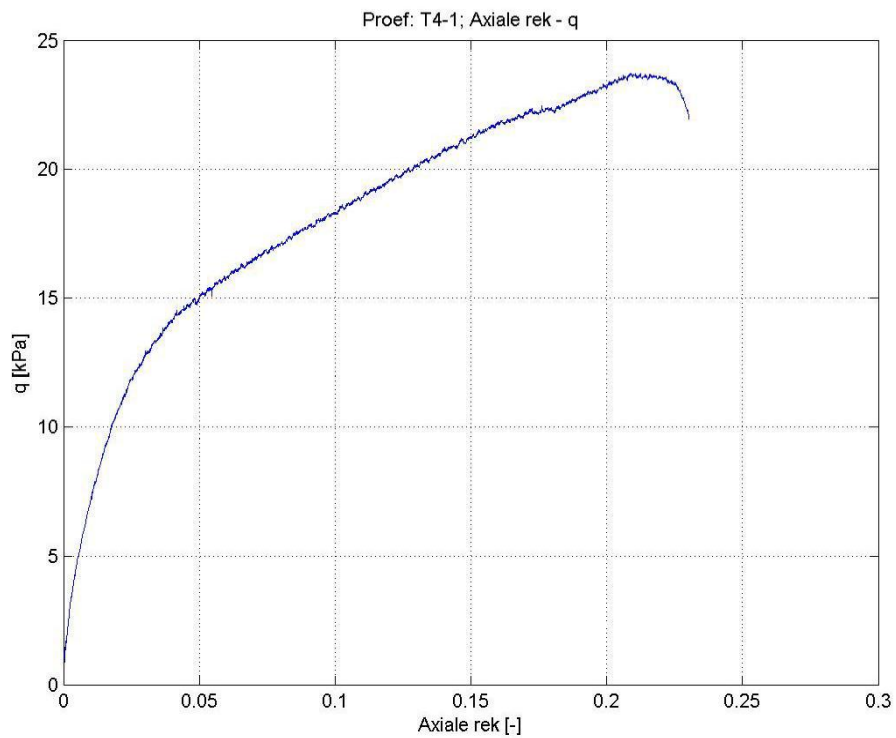
## Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd



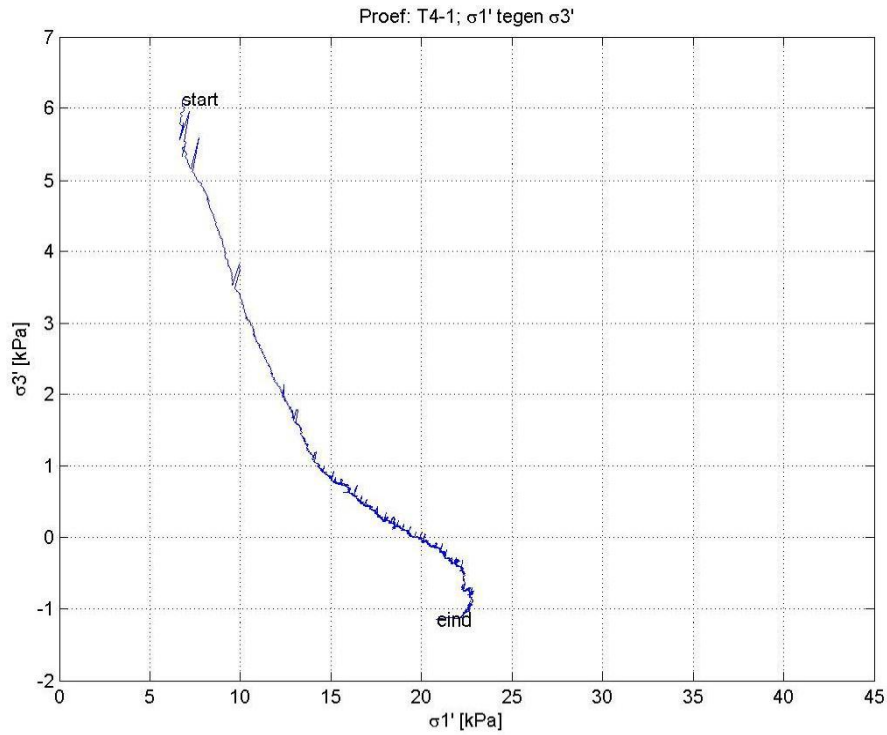
**Grafiek afschuiven:  $p' - q$**



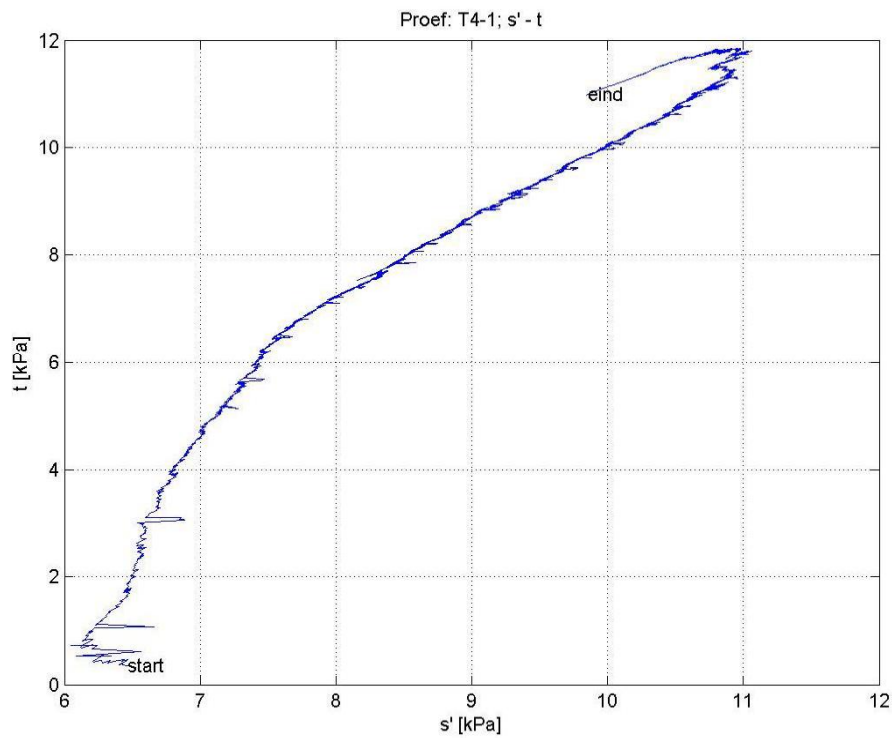
**Grafiek afschuiven: Axiale rek –  $q$**



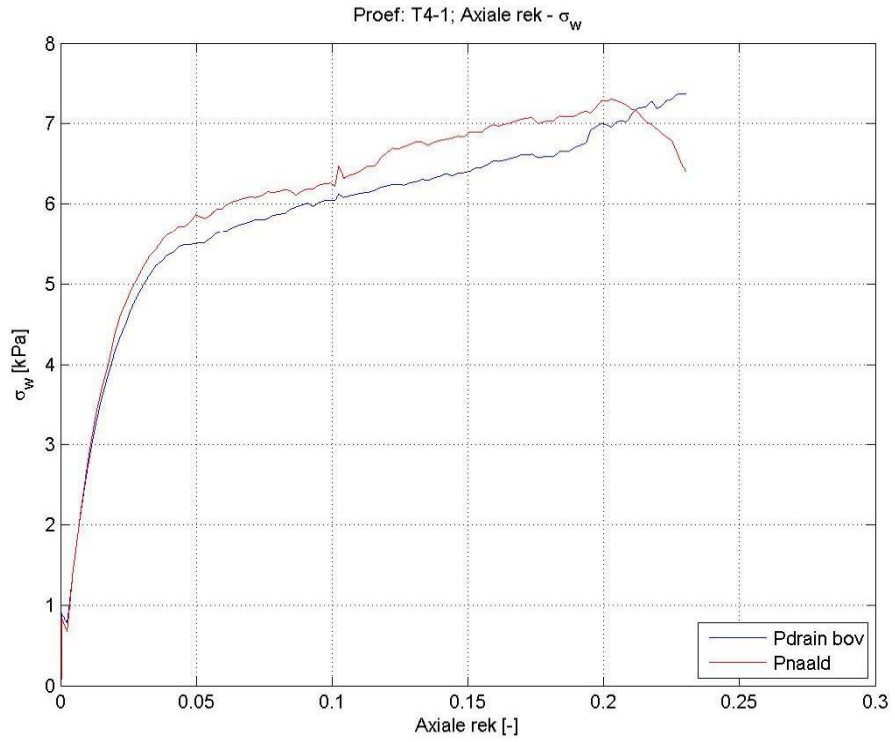
## Grafiek afschuiven: $\sigma_1 - \sigma_3$



## Grafiek afschuiven: $s - t$



**Grafiek afschuiven: Axiale rek -  $\sigma_w$**

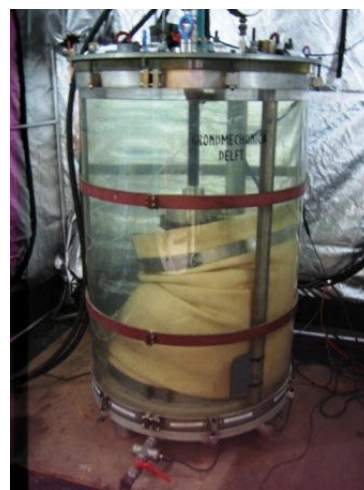






## B Monster T4

Foto's van het monster, na de proef



### Watergehaltes voor de proef

Niet opgenomen

### Watergehaltes na de proef

ID nummer monsterbakje	B16	A18	X15	A34
Gewicht monsterbakje (gr)	78,97	89,46	95,21	81,81
Totaalgewicht nat (gr)	289,47	510,92	381,34	303,02
Totaalgewicht droog (gr)	107,98	134,01	128,33	105,59
Gewicht verdampt water (gr)	181,49	376,91	253,01	197,43
Oorspronkelijk watergehalte (%)	625,61	846,04	763,92	830,24

### Hoogte en gewicht monster na trimmen

Hoogte 81,5cm bij Ø40cm

Gewicht 87.95kg

## B-factoren

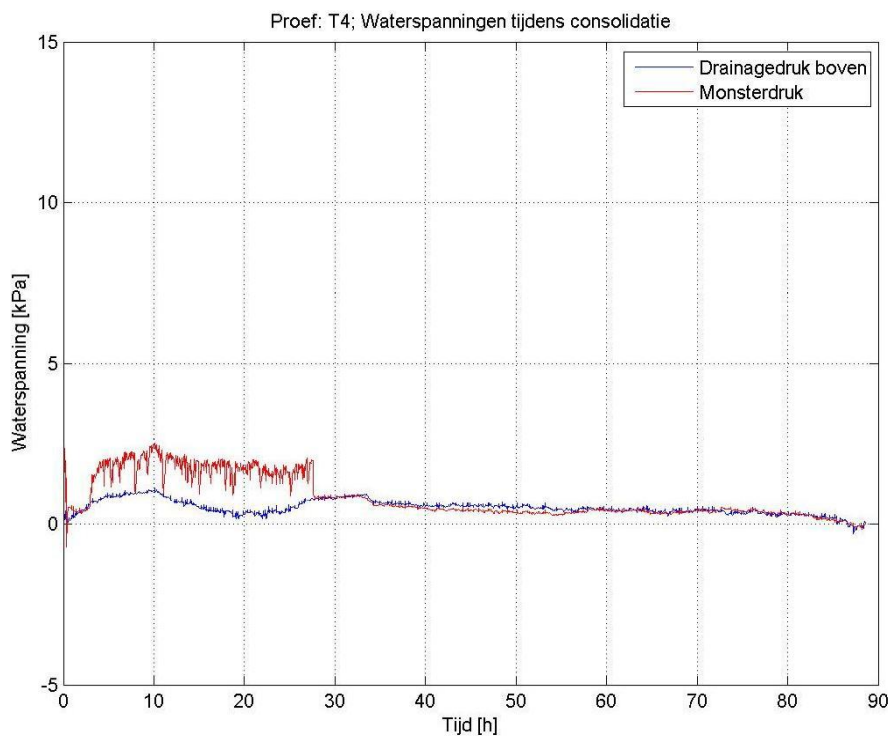
	P cel	P drain	P monster	B-factor (Pdrain/Pcel)	B-factor (Pmonster/Pcel)
Startwaarde	310,4	295,2	302,7		
Eindwaarde	320,16	304,96	311,02		
Verschildruk	9,76	9,76	8,32		
B-factoren				1,00	0,85
Startwaarde	320,16	304,96	311,02		
Eindwaarde	310,71	295,44	301,72		
Verschildruk	-9,45	-9,52	-9,30		
B-factoren				1,01	0,98

## Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure

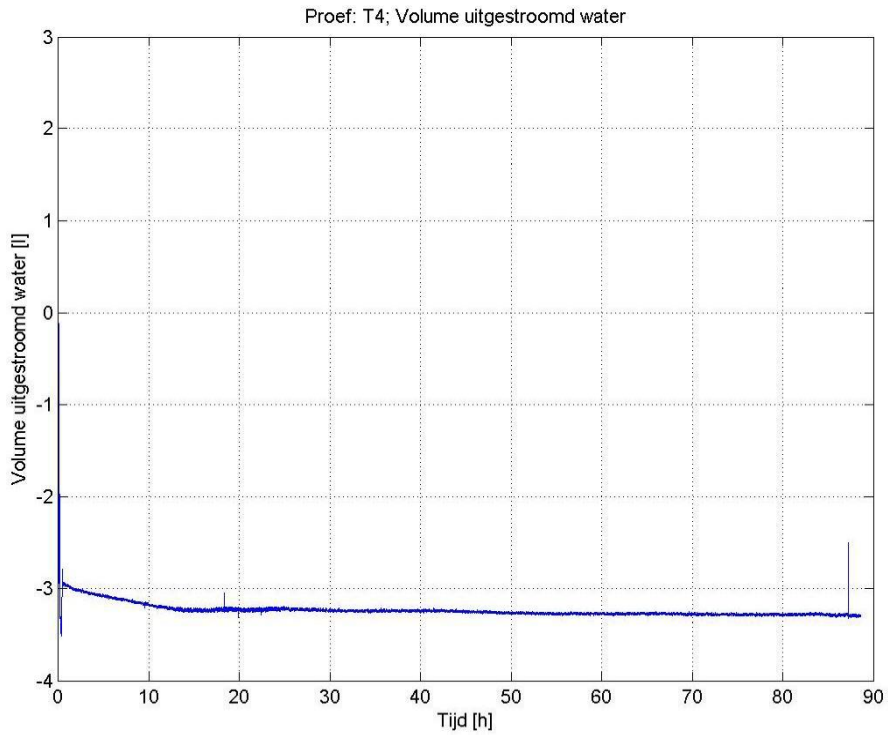
Kleine druppelsgewijze lekkage in de aansluiting tussen de drukopnemer en de naald in het monster, dit kan tot en met het bepalen van de B-factoren effect gehad hebben op de meting van de druk in het monster.

Tijdens consolidatie heeft de waterspanningsmeter in het monster tijdelijk een afwijkende waarde weergegeven.

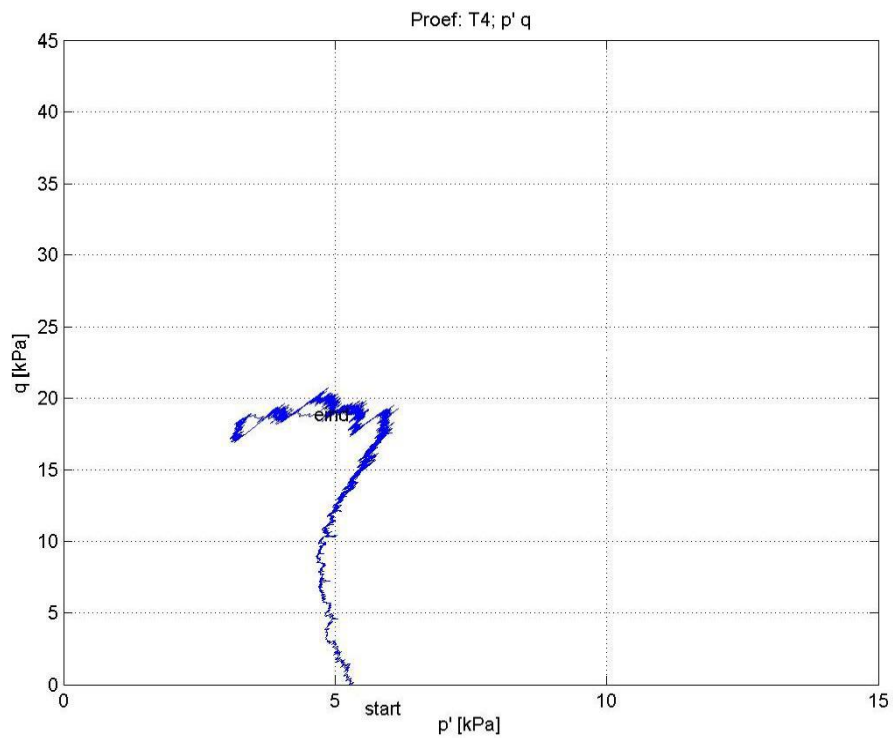
## Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd



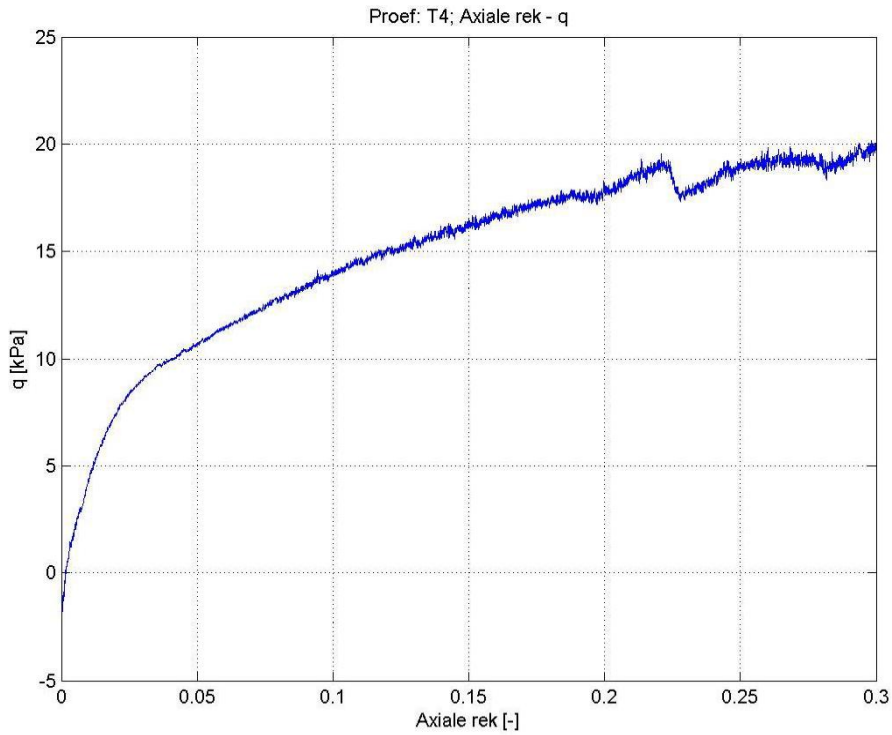
**Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd**



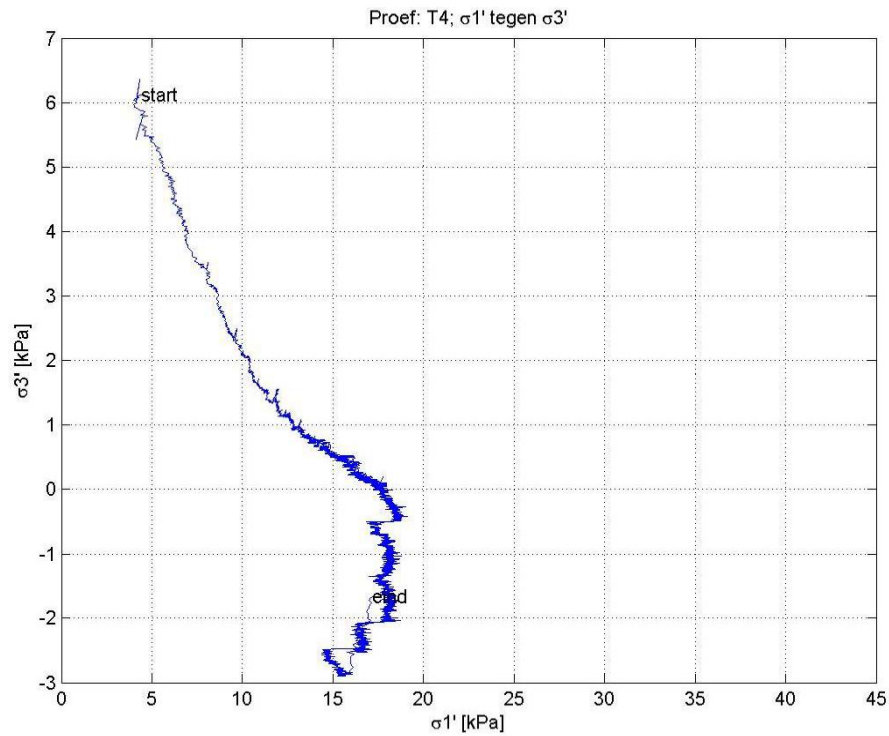
**Grafiek afschuiven: p' – q**



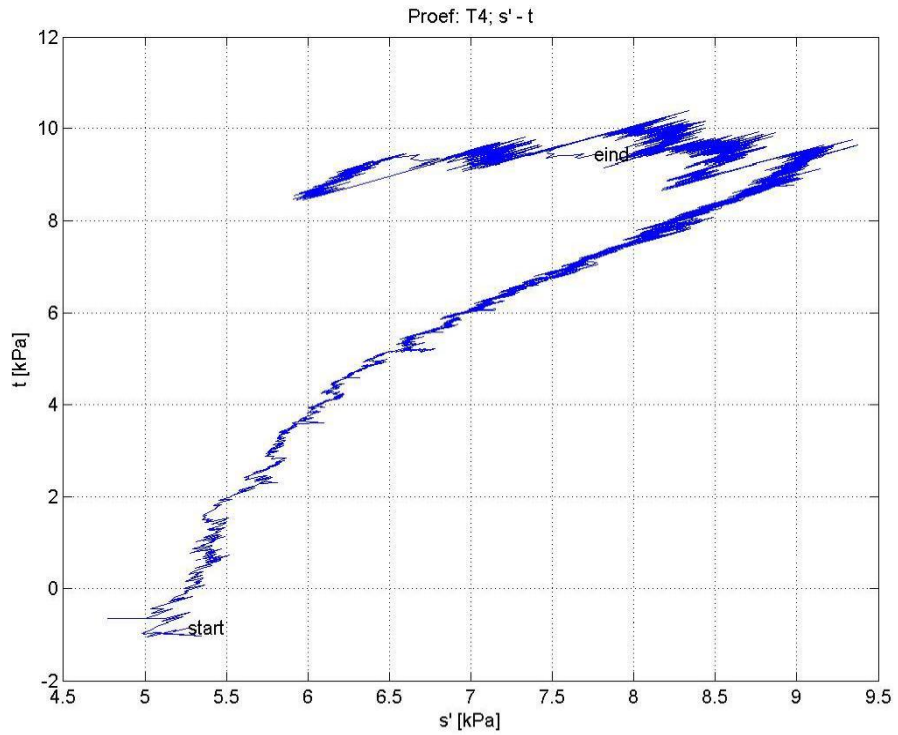
## Grafiek afschuiven: Axiale rek – q



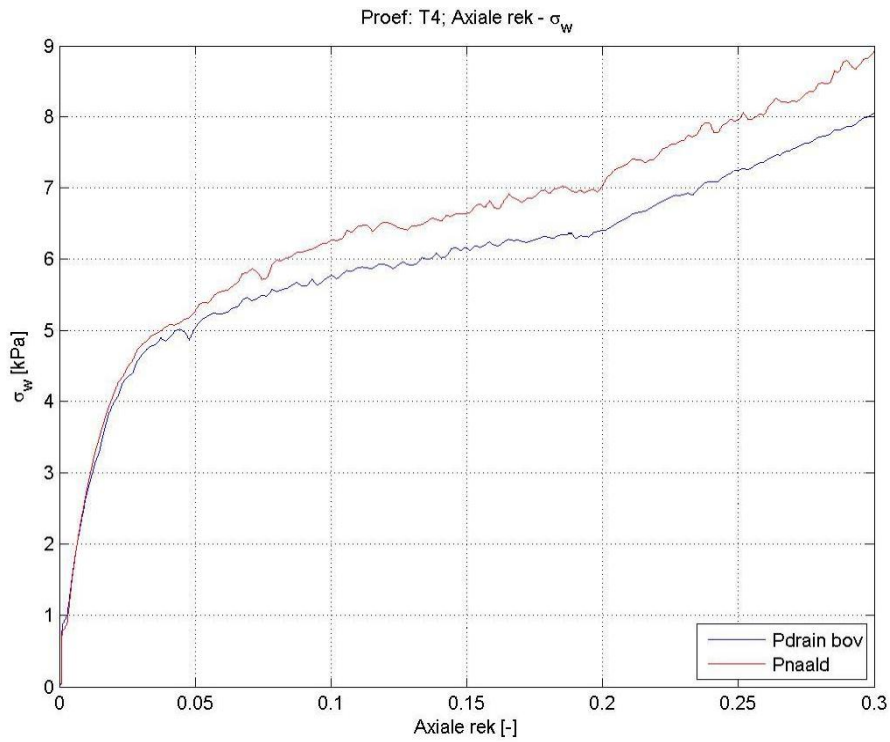
## Grafiek afschuiven: $\sigma_1 - \sigma_3$



**Grafiek afschuiven: s – t**



## Grafiek afschuiven: Axiale rek - $\sigma_w$



## C Monster T3-1

### Foto's van het monster



### Watergehaltes voor de proef

Niet opgenomen

### Watergehaltes na de proef

ID nummer monsterbakje	Q1	A75	B48	SR1
Gewicht monsterbakje (gr)	90,47	83,74	79,88	94,76
Totaalgewicht nat (gr)	225,88	281,57	334,19	340,4
Totaalgewicht droog (gr)	109,55	103,05	104,35	114,37
Gewicht verdampt water (gr)	116,33	178,52	229,84	226,03
Oorspronkelijk watergehalte (%)	609,70	924,50	939,27	1152,63

### Hoogte en gewicht monster na trimmen

Hoogte 78cm bij Ø40cm

Gewicht 97.25kg

### B-factoren

Verloren gegaan als gevolg van computercrash, waarden lagen echter in lijn der verwachting.

## Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure

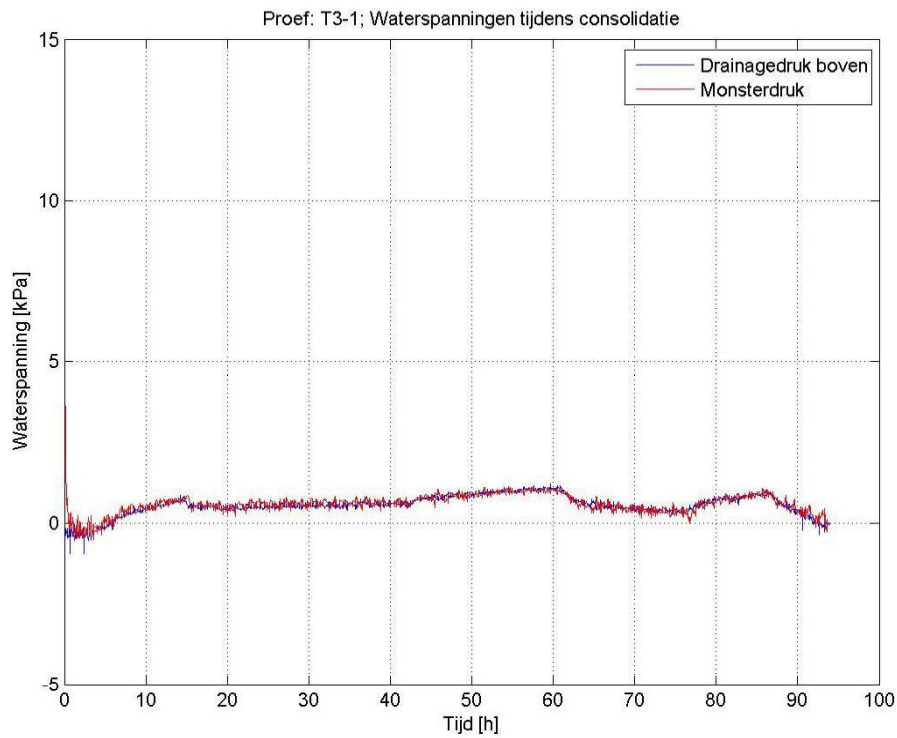
B-factoren niet bepaald.

Net voor aanbrengen Backpressure is ontdekt dat de drukopnemers voor de Celdruk en de Drainagedruk verkeerd om waren aangesloten, dat is onmiddellijk gecorrigeerd.

Problemen met de drukmetingen via de naald in het monster, de naald zat waarschijnlijk deels verstopt door het veen.

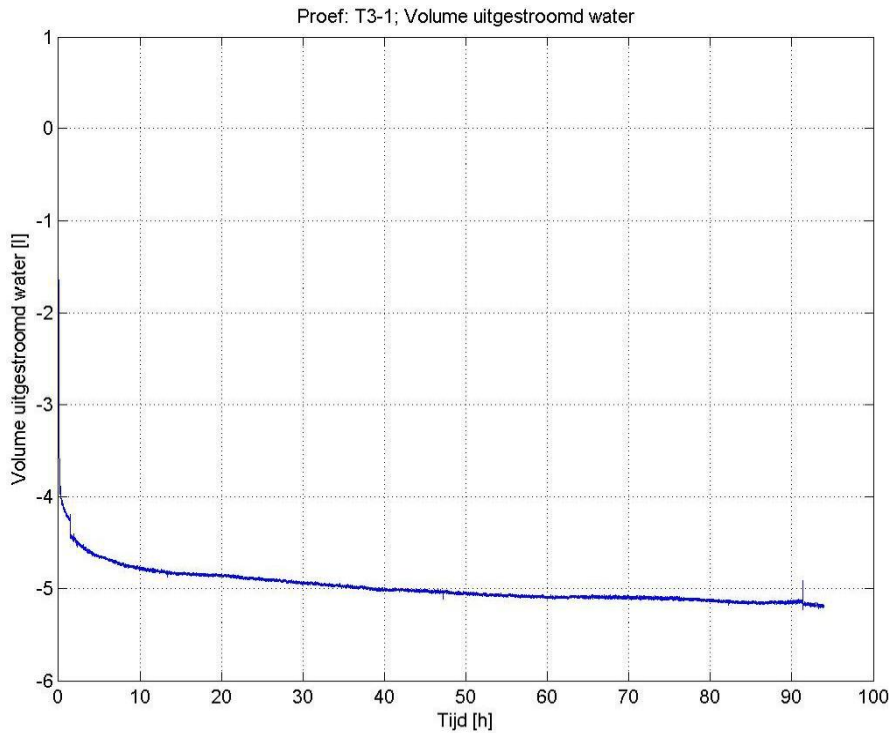
Tijdens de belastingsfase is de krachtopnemer defect gegaan. Na ca 12 belasten is de meting onbetrouwbaar.

## Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd

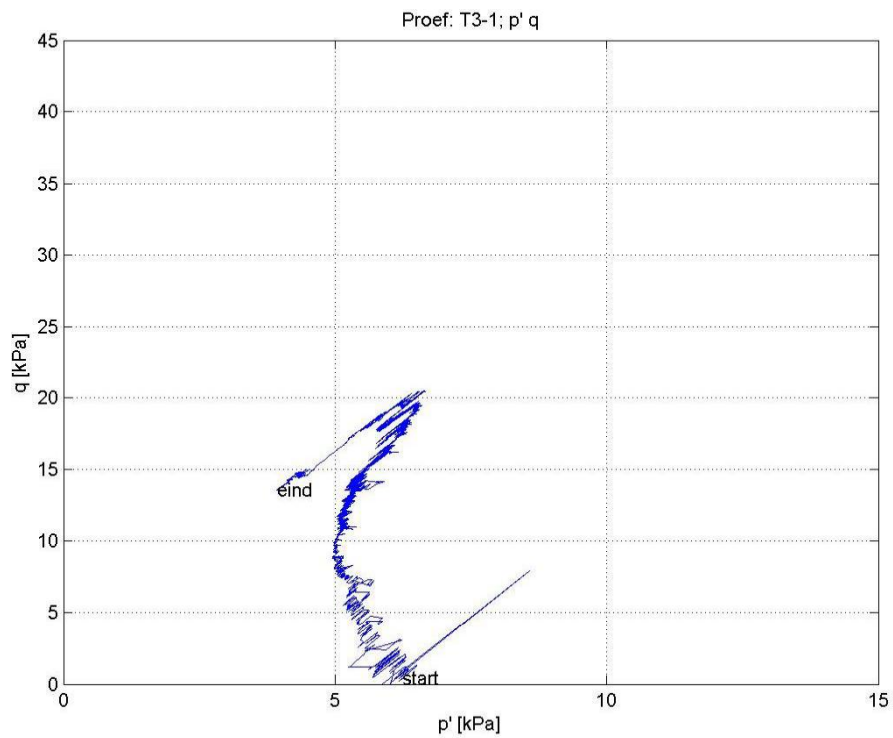




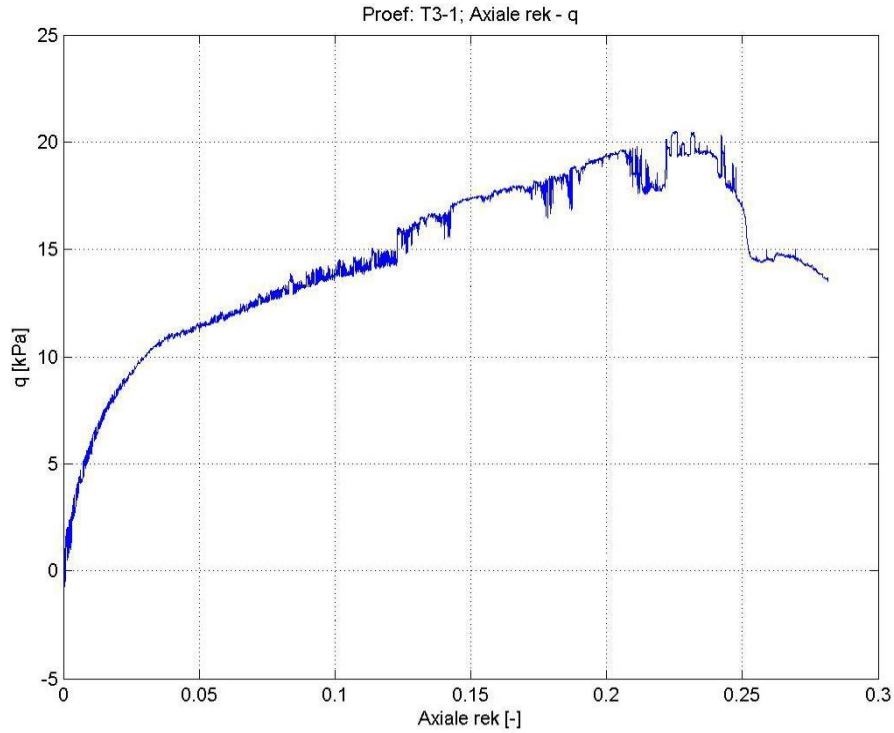
**Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd**



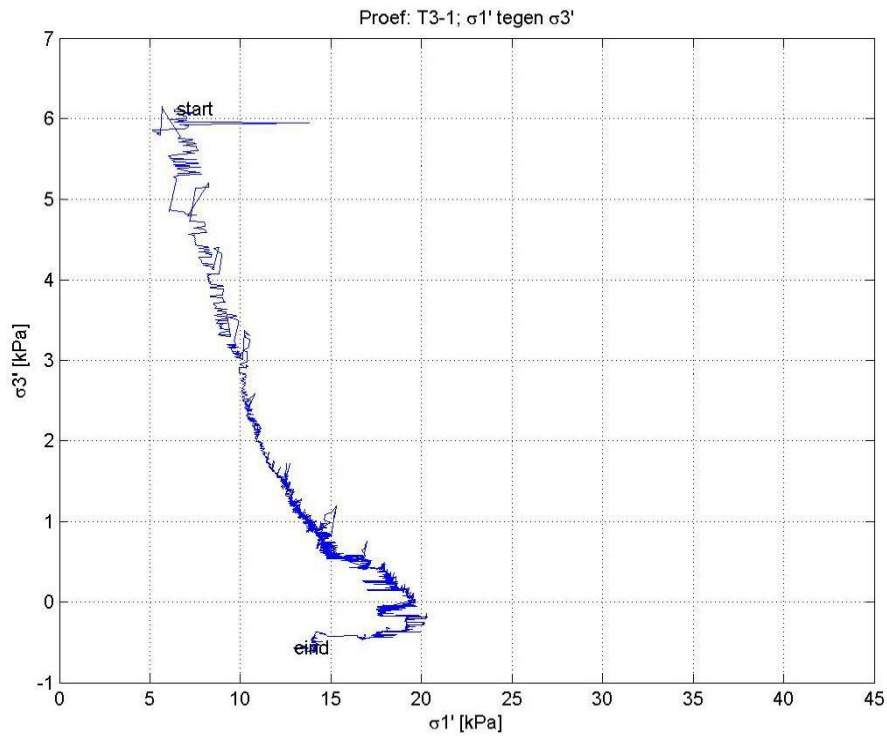
**Grafiek afschuiven:  $p' - q$**



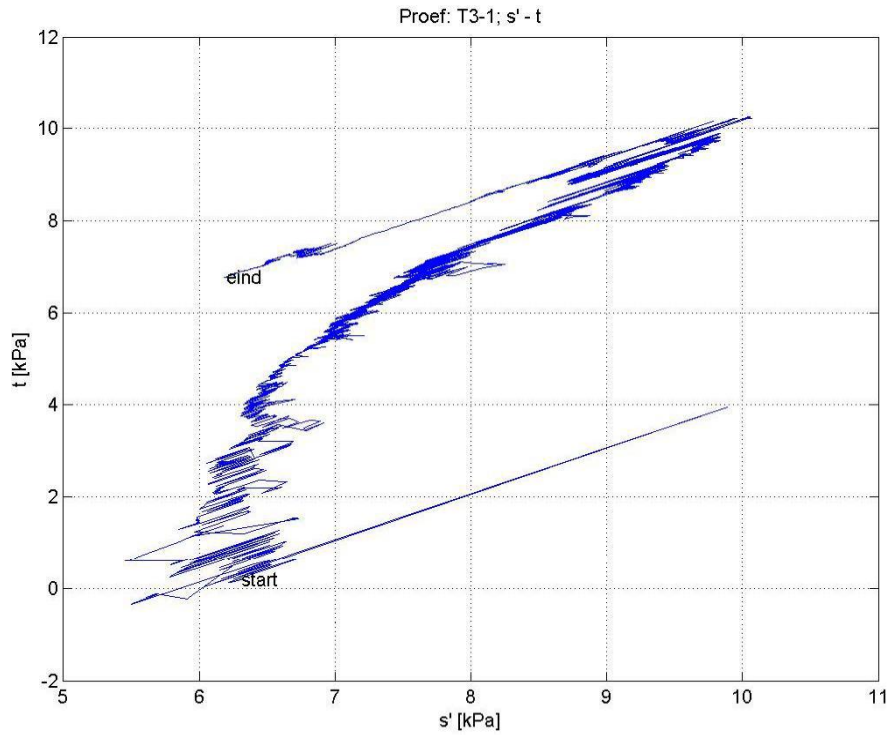
## Grafiek afschuiven: Axiale rek – q



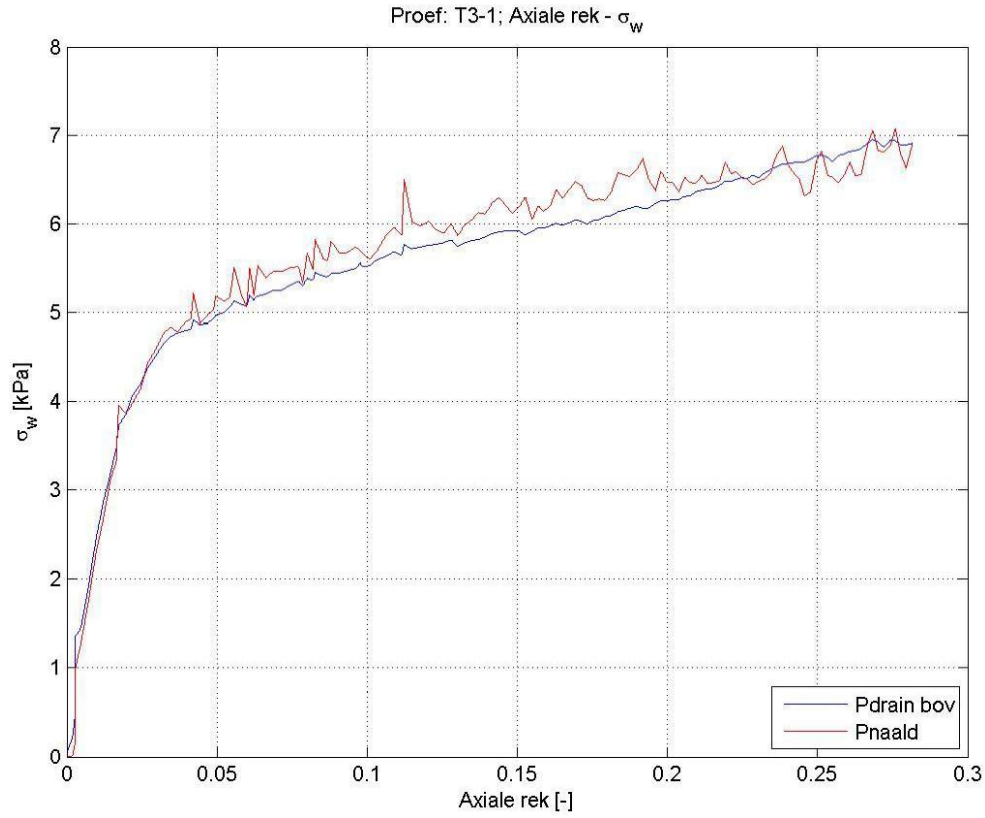
## Grafiek afschuiven: $\sigma_1 - \sigma_3$



**Grafiek afschuiven: s – t**

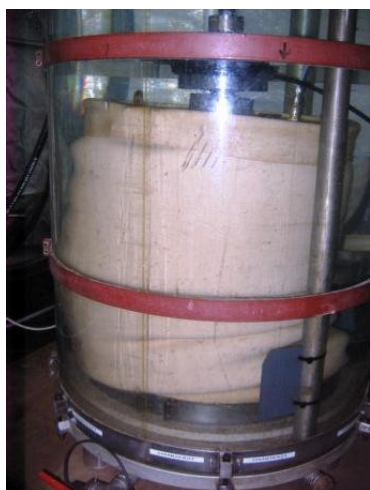


## Grafiek afschuiven: Axiale rek - $\sigma_w$



## D Monster T3

Foto's van het monster, na de proef



### Watergehaltes voor de proef

Niet opgenomen

### Watergehaltes na de proef

Niet opgenomen

### Hoogte en gewicht monster na trimmen

Hoogte 78,3cm bij Ø40cm

Gewicht 96.75kg

### B-factoren

	P cel	P drain	P monster	B-factor (Pdrain/Pcel)	B-factor (Pmonster/Pcel)
Startwaarde	311,36	301,5	311,76		
Eindwaarde	320,14	310,65	320,64		
Verschildruk	8,78	9,15	8,88		
B-factoren				1,04	1,01

## Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure

Krachtopnemer bleek bij aanbrengen backpressure defect, is vervangen.

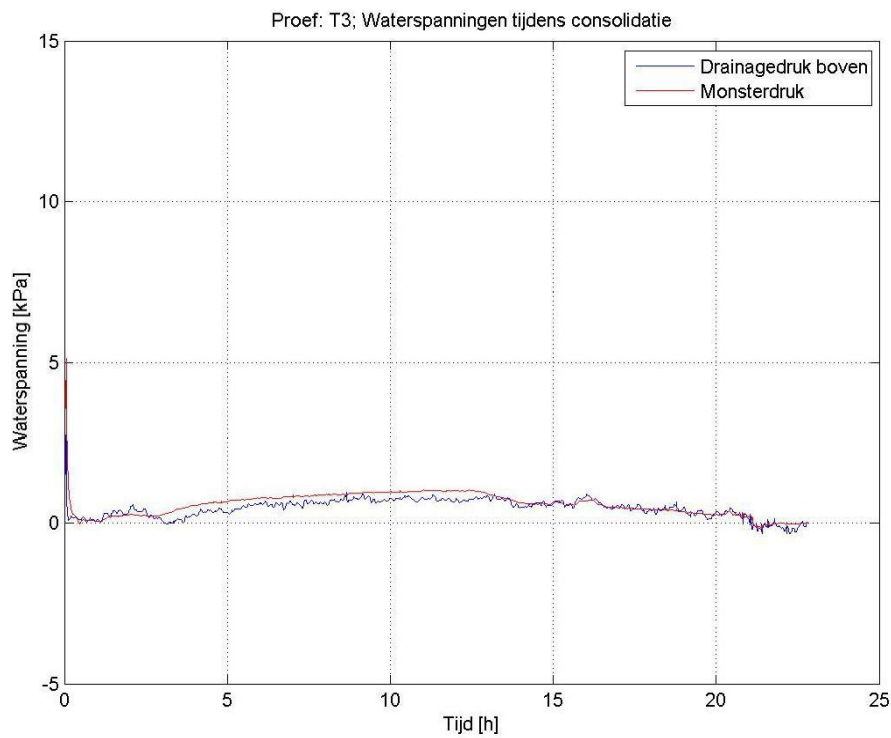
Tot en met aanbrengen backpressure zijn storingen waarneembaar in de meetsignalen, dit bleek veroorzaakt te worden door de frequentieregelaar van de medium piping opstelling.

B-factor bij teruglopende druk niet bepaald.

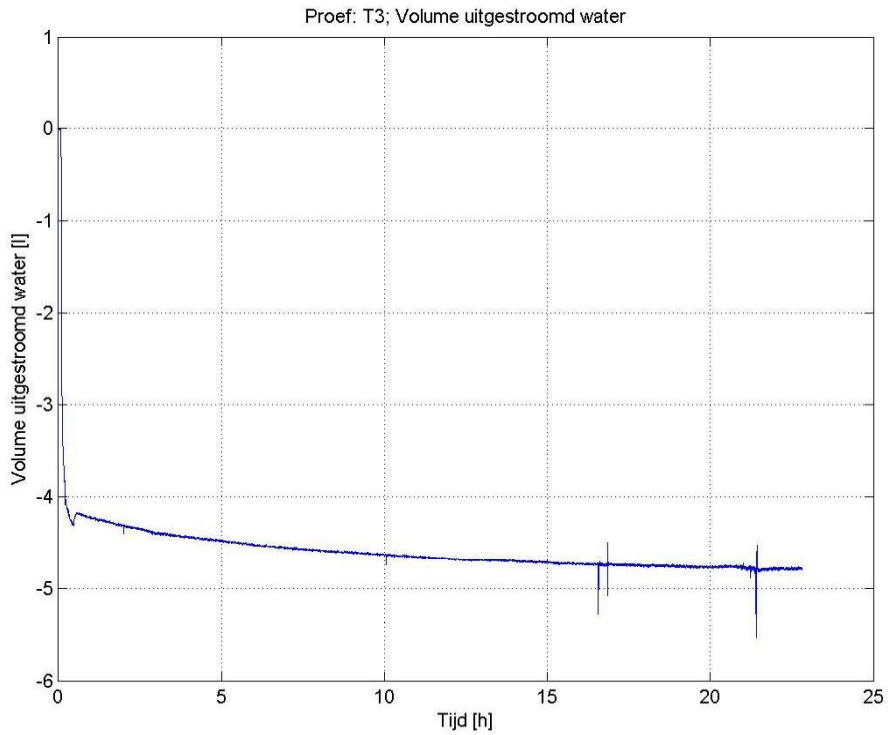
Watergehaltes niet bepaald.

Bij uitvoeren belastingsproef is de plunjer (mogelijk vóór bezwijken monster) 25mm omhoog getrokken, na constatering dat het monster mogelijk nog niet bezwaken was is de plunjer 10mm omlaag gezet waarna de proef is gecontinueerd.

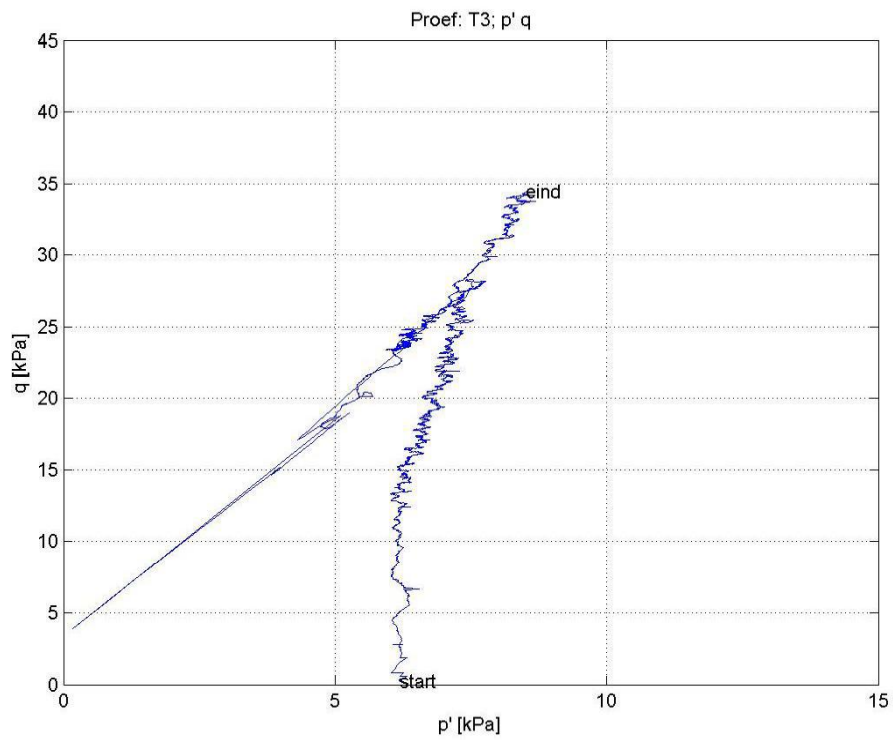
## Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd



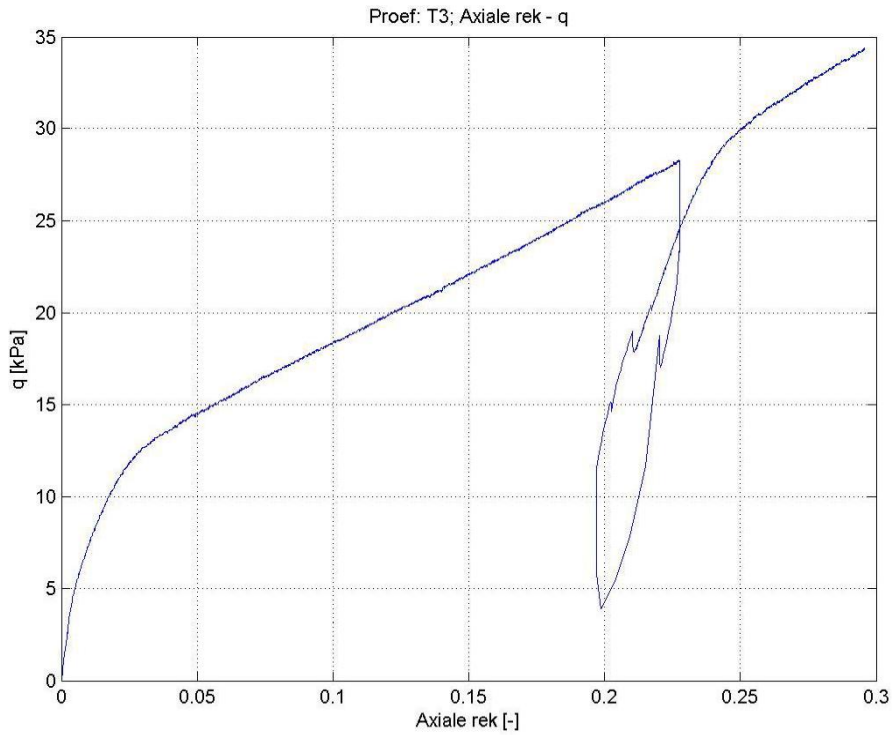
**Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd**



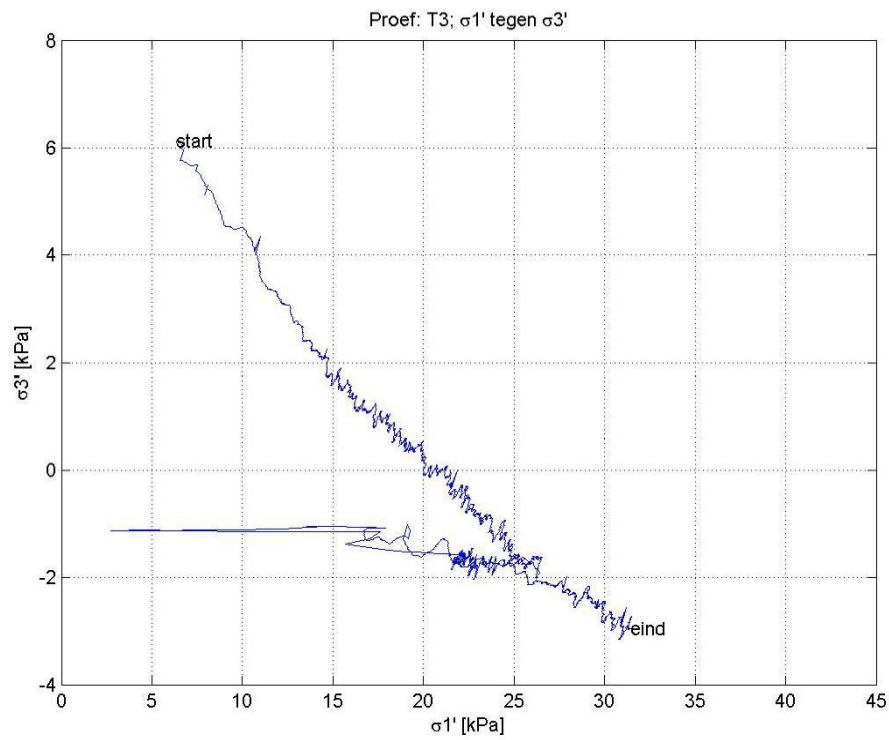
**Grafiek afschuiven: p' – q**



## Grafiek afschuiven: Axiale rek – q

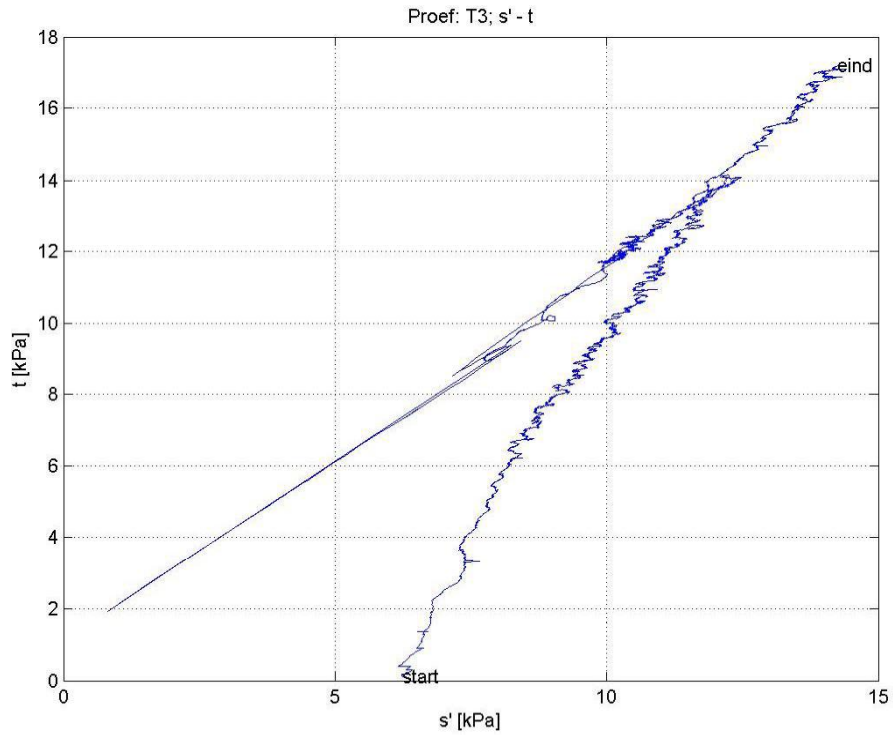


## Grafiek afschuiven: $\sigma_1 - \sigma_3$

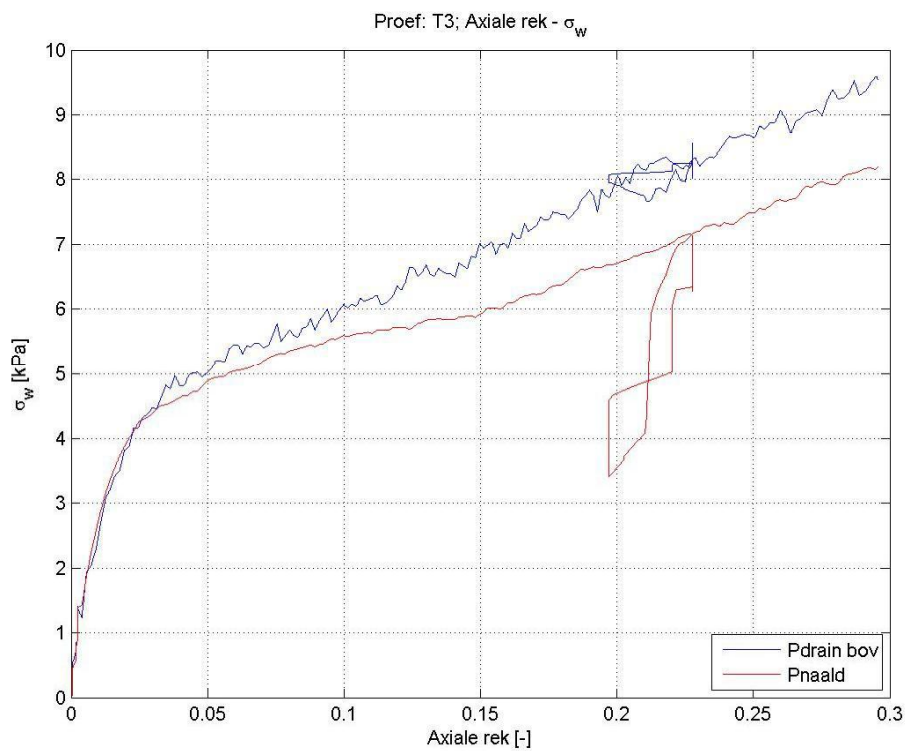




**Grafiek afschuiven: s - t**



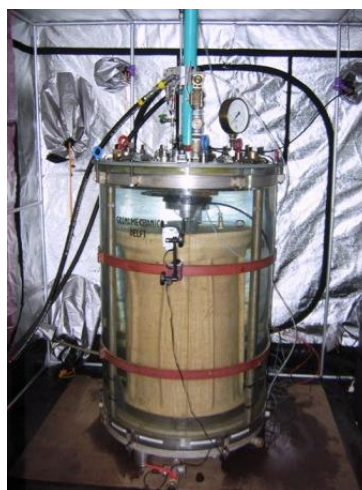
**Grafiek afschuiven: Axiale rek -  $\sigma_w$**





## E Monster T4-2

Foto's van het monster, na de proef



### Watergehaltes voor de proef

Niet opgenomen

### Watergehaltes na de proef

ID nummer monsterbakje	A57	SR2	B10	B28
Gewicht monsterbakje (gr)	88,86	82,95	84,61	81,27
Totaalgewicht nat (gr)	182,46	178,58	180,46	177,20
Totaalgewicht droog (gr)	101,31	93,33	94,07	91,17
Gewicht verdampt water (gr)	81,15	85,25	86,39	86,03
Oorspronkelijk watergehalte (%)	651,81	821,29	913,21	868,99

### Hoogte en gewicht monster na trimmen

Hoogte 75cm bij Ø40cm

Gewicht 95,45kg

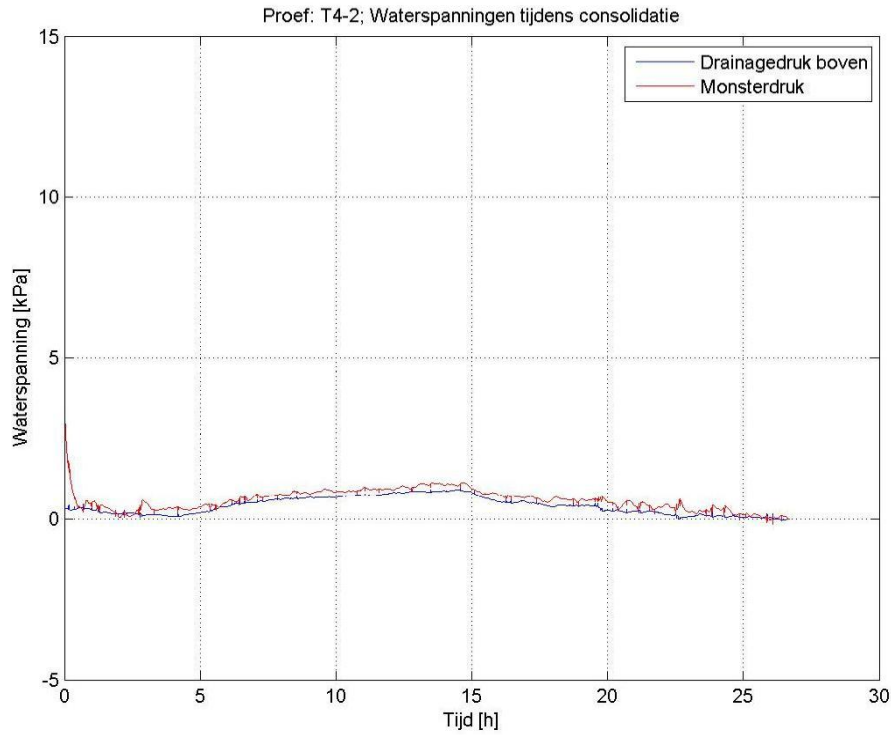
### B-factoren

	P cel	P drain	P monster	B-factor (Pdrain/Pcel)	B-factor (Pmonster/Pcel)
Startwaarde	309,3	296,5	302,8		
Eindwaarde	321,3	308,6	315		
Verschildruk	12,00	12,10	12,20		
B-factoren				1,01	1,02
Startwaarde	321,3	308,6	315		
Eindwaarde	310,3	297,4	304,1		
Verschildruk	-11,00	-11,20	-10,90		
B-factoren				1,02	0,99

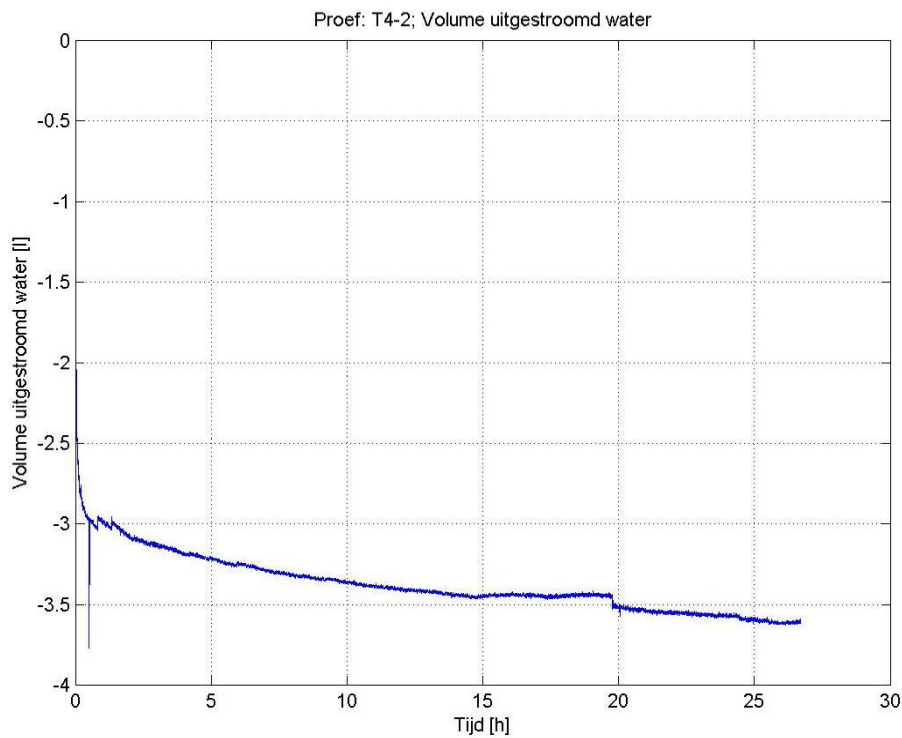
### Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure

Bij aanbrengen backpressure problemen met meting van druk in het monster via de naald door verstopping met veen.

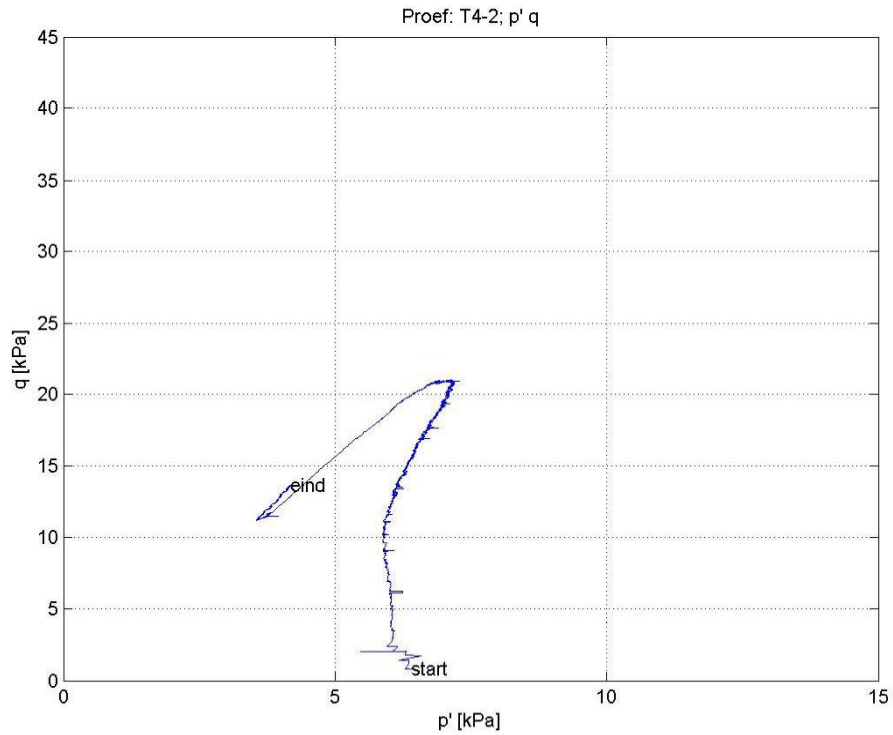
## Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd



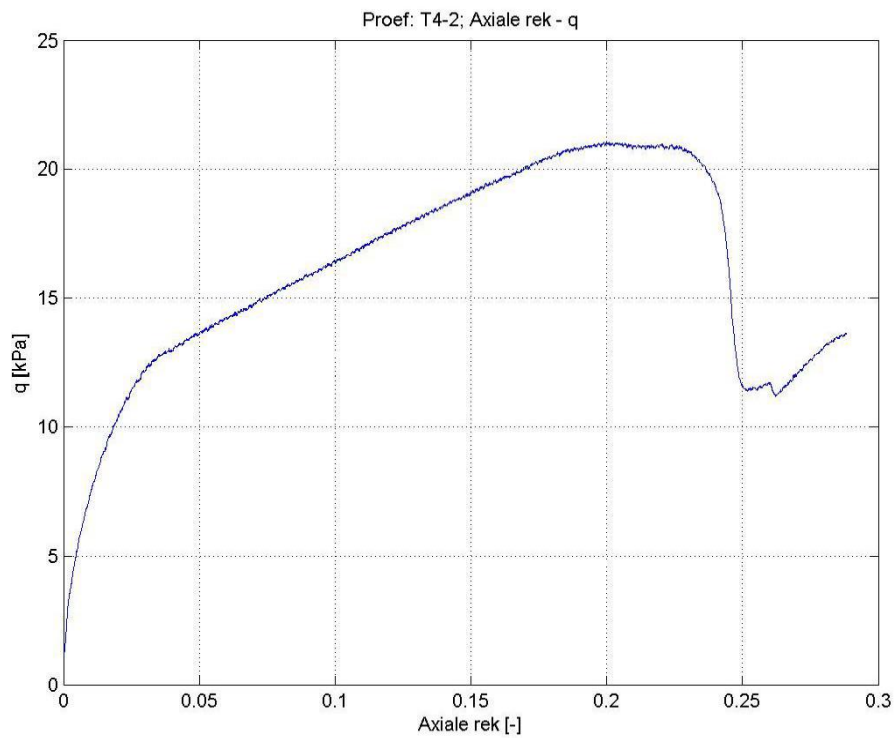
## Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd



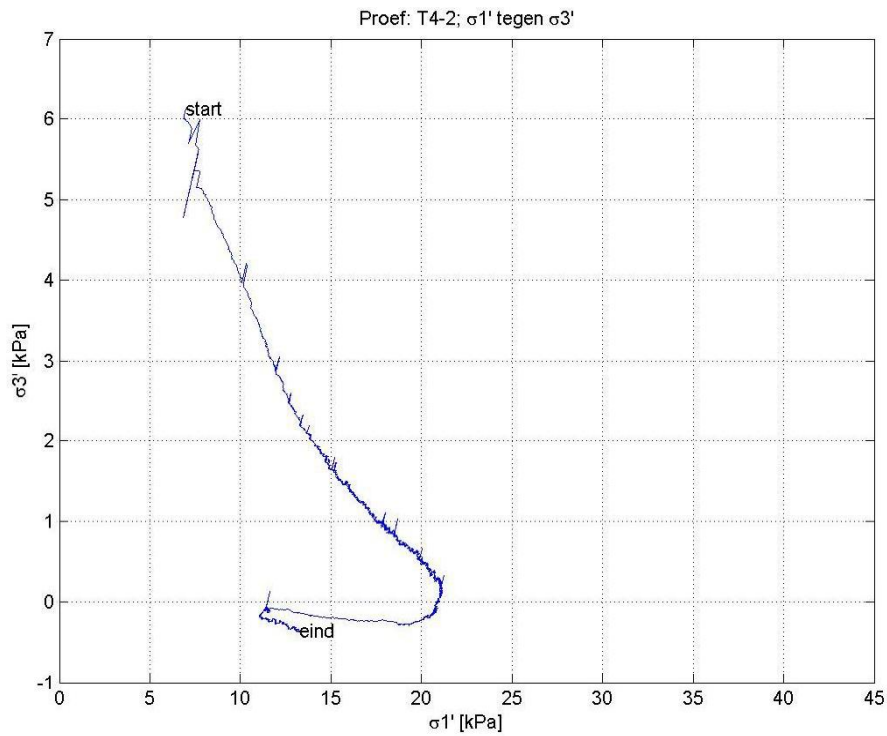
**Grafiek afschuiven:  $p' - q$**



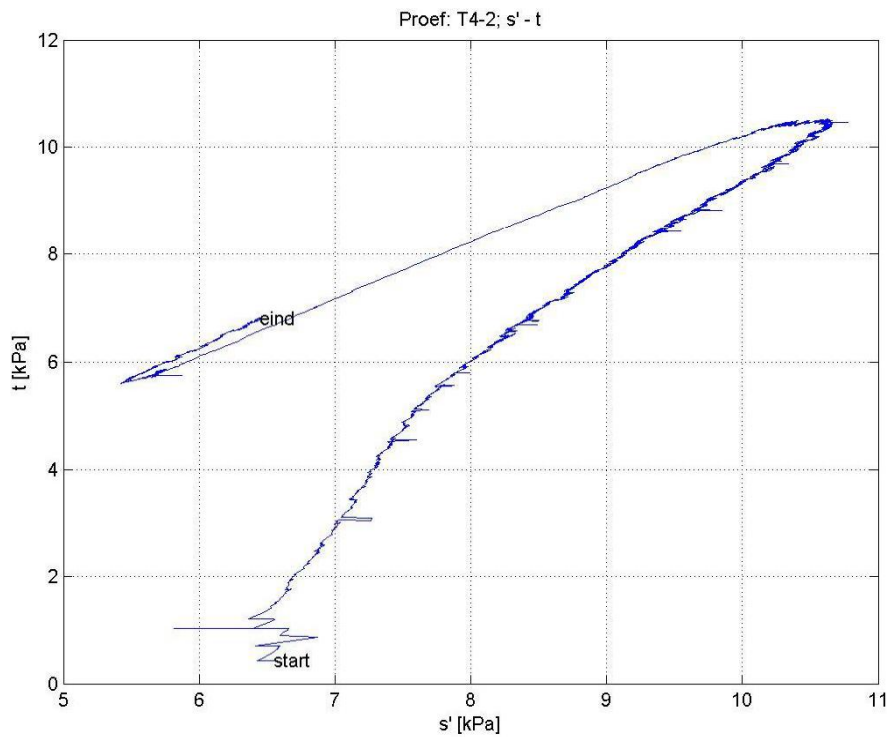
**Grafiek afschuiven: Axiale rek –  $q$**



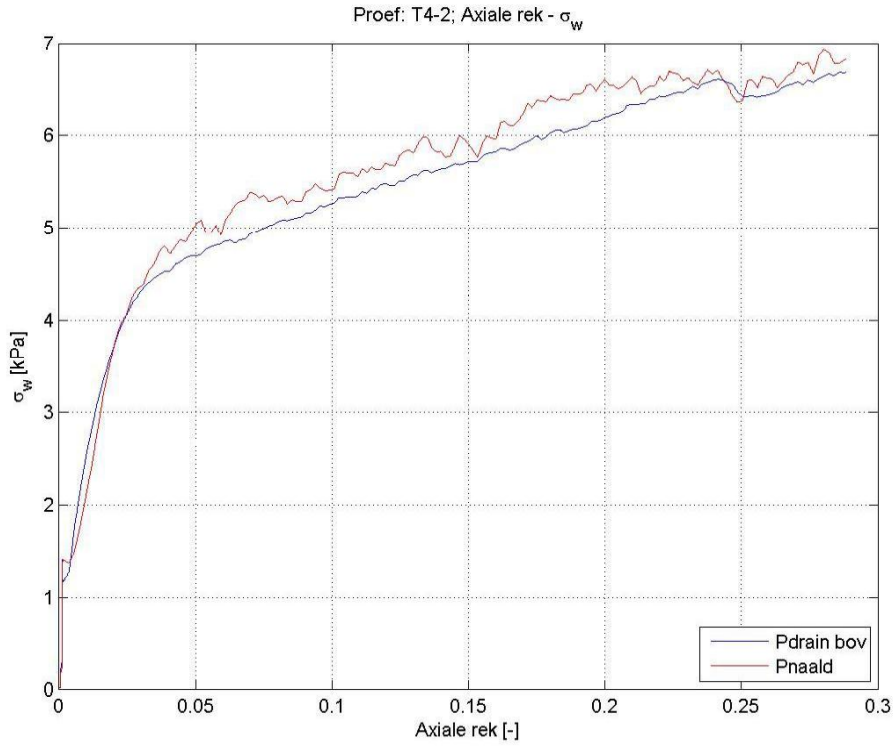
## Grafiek afschuiven: $\sigma_1 - \sigma_3$



## Grafiek afschuiven: s - t



**Grafiek afschuiven: Axiale rek -  $\sigma_w$**







## F Monster T5-1

Foto's van het monster, na de proef



## Watergehalten voor de proef

ID nummer monsterbakje	SR1
Gewicht monsterbakje (gr)	94,77
Totaalgewicht nat (gr)	191,50
Totaalgewicht droog (gr)	104,43
Gewicht verdampt water (gr)	87,07
Oorspronkelijk watergehalte (%)	901,35

## Watergehalten na de proef

ID nummer monsterbakje	MH5	C72	A75	B48
Gewicht monsterbakje (gr)	95,05	82,19	83,71	79,86
Totaalgewicht nat (gr)	187,69	176,11	178,44	176,06
Totaalgewicht droog (gr)	106,1	93,16	93,51	90,79
Gewicht verdampt water (gr)	81,59	82,95	84,93	85,27
Oorspronkelijk watergehalte (%)	738,37	756,15	866,63	780,15

## Hoogte en gewicht monster na trimmen

Hoogte 75,3cm bij Ø40cm

Gewicht 93,4kg

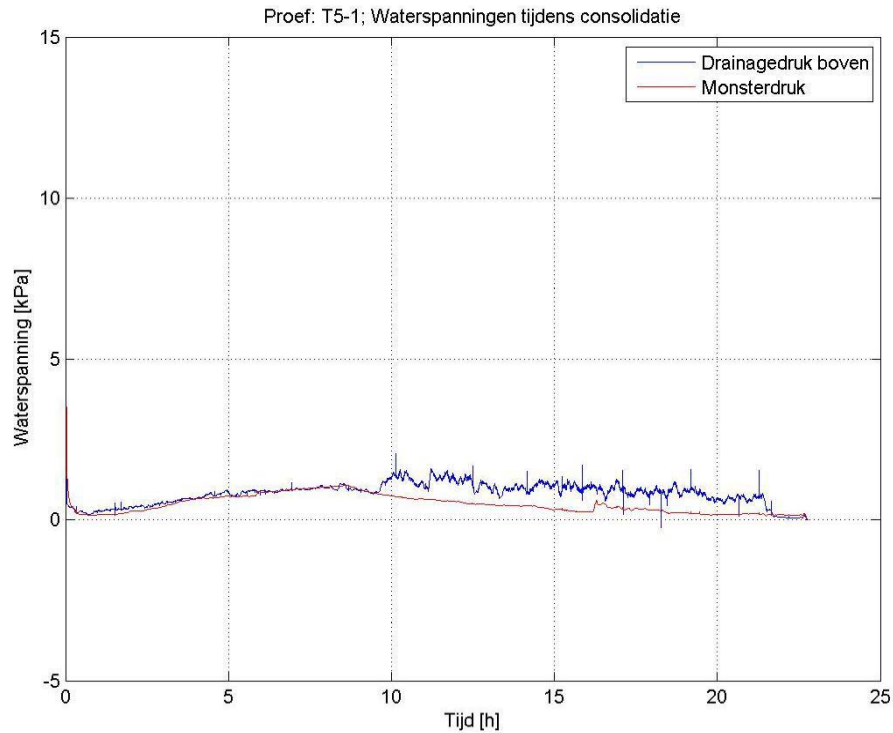
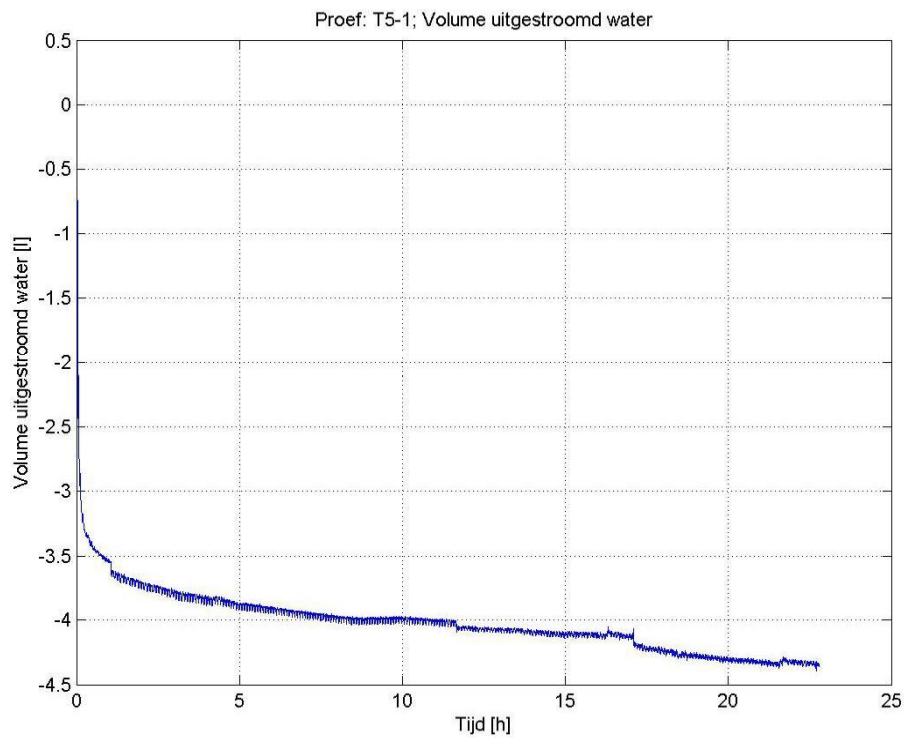
## B-factoren

	P cel	P drain	P monster	B-factor (Pdrain/Pcel)	B-factor (Pmonster/Pcel)
Startwaarde	310,6	297,8	306,2		
Eindwaarde	320,39	307,5	316,1		
Verschildruk	9,79	9,70	9,90		
B-factoren				0,99	1,01
Startwaarde	320,39	307,5	316,1		
Eindwaarde	310,96	297,99	306,73		
Verschildruk	-9,43	-9,51	-9,37		
B-factoren				1,01	0,99

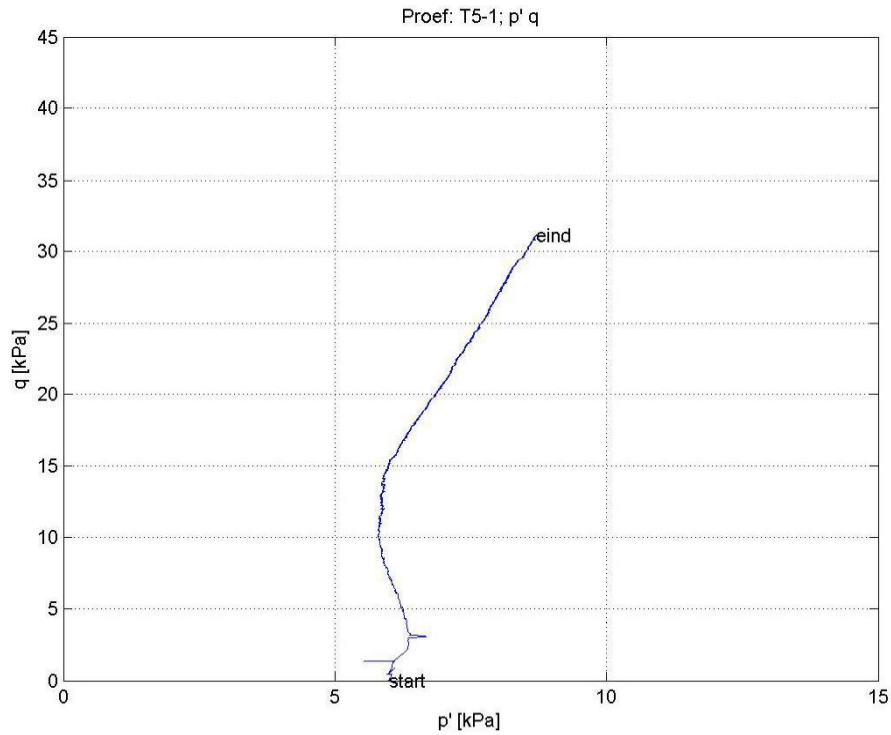
## Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure

Bij aanbrengen backpressure is de meting van de druk in het monster via de naald trager door verstopping met veen.

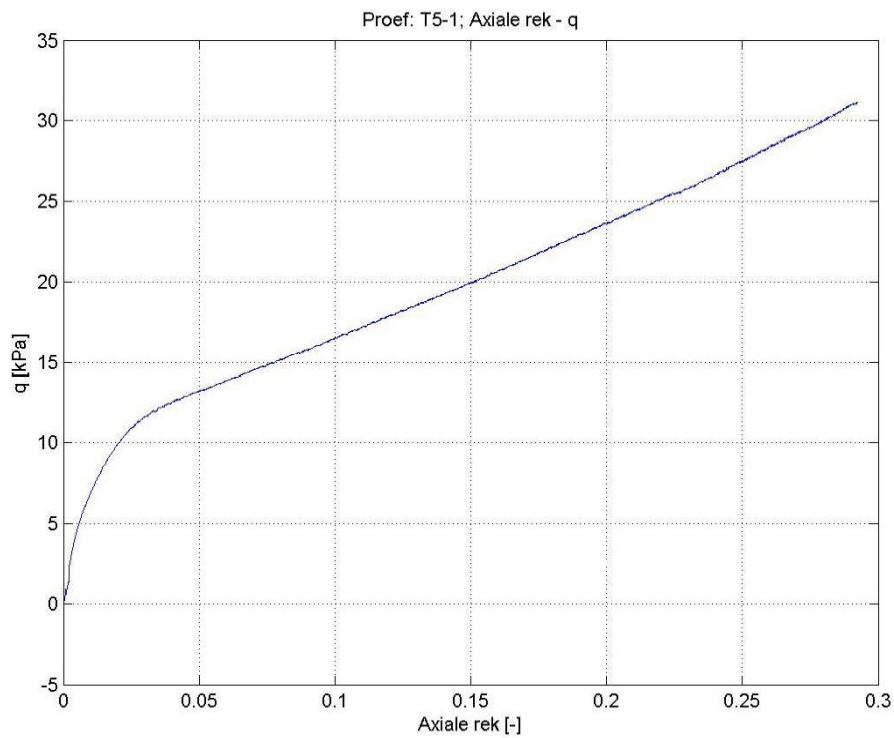
Bij uitvoeren belastingsproef is het gewicht van het in-/uitgestroomde monsterwater iets opgelopen, mogelijk een kleine lekkage over de kraan tussen buret en monster.

**Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd****Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd**

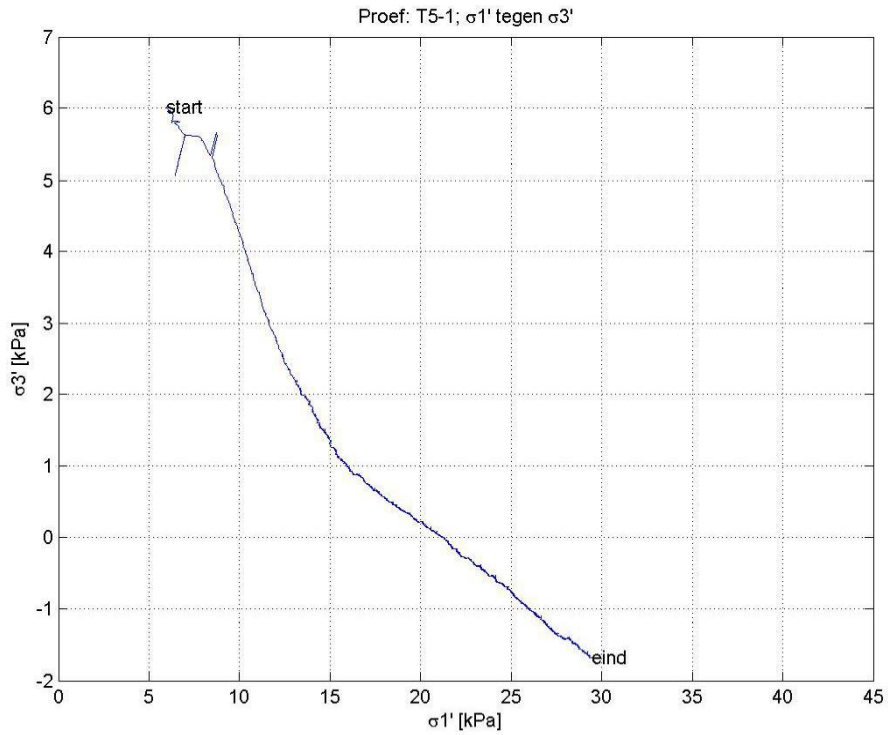
## Grafiek afschuiven: $p' - q$



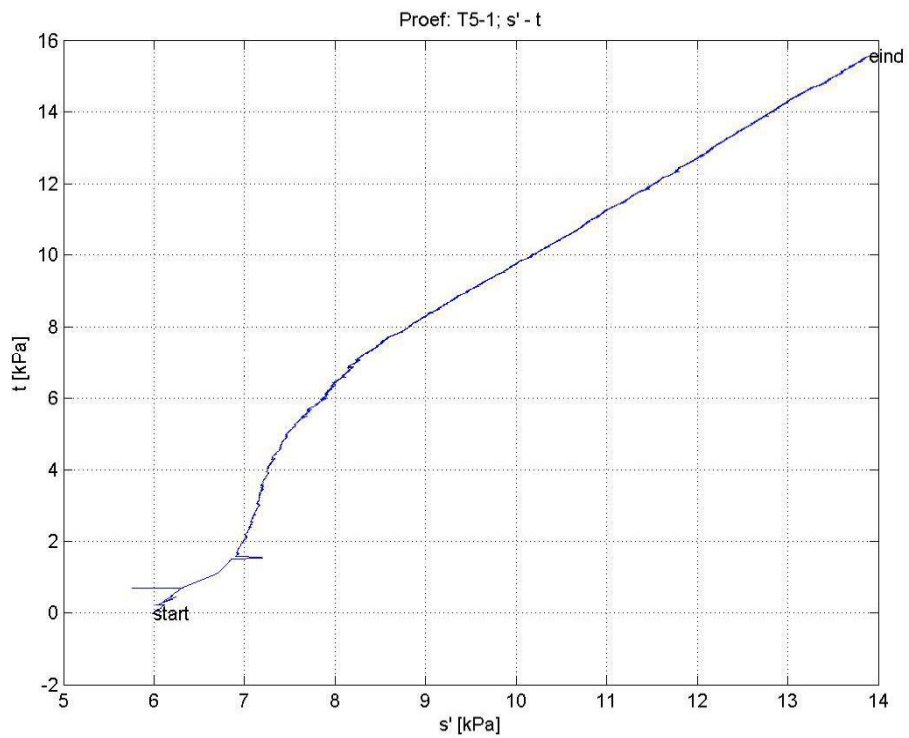
## Grafiek afschuiven: Axiale rek – $q$



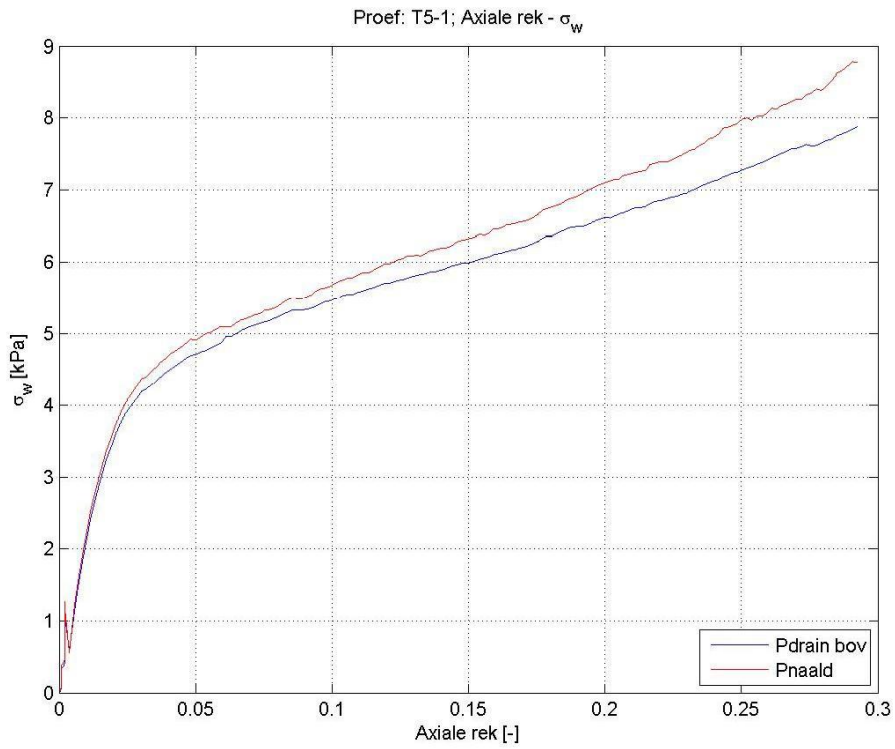
**Grafiek afschuiven:  $\sigma_1 - \sigma_3$**



**Grafiek afschuiven: s - t**



## Grafiek afschuiven: Axiale rek - $\sigma_w$



## G Monster T8-1

Foto's van het monster, na de proef



### Watergehaltes voor de proef

ID nummer monsterbakje	<b>B28</b>
Gewicht monsterbakje (gr)	81,3
Totaalgewicht nat (gr)	225,1
Totaalgewicht droog (gr)	96,95
Gewicht verdampt water (gr)	128,15
Oorspronkelijk watergehalte (%)	818,85

### Watergehaltes na de proef

ID nummer monsterbakje	<b>SR2</b>	<b>A57</b>	<b>B28</b>	<b>B10</b>
Gewicht monsterbakje (gr)	82,96	88,85	81,28	84,63
Totaalgewicht nat (gr)	180,55	190,44	182,75	183,76
Totaalgewicht droog (gr)	97,94	104,50	96,99	98,34
Gewicht verdampt water (gr)	82,61	85,94	85,76	85,42
Oorspronkelijk watergehalte (%)	551,47	549,14	545,89	623,05

### Hoogte en gewicht monster na trimmen

Hoogte 75cm bij Ø40cm

Gewicht 97,5kg

## B-factoren

	P cel	P drain	P monster	B-factor (Pdrain/Pcel)	B-factor (Pmonster/Pcel)
<b>Startwaarde</b>	310,36	310,45	311,55		
<b>Eindwaarde</b>	324,75	324,84	326,14		
<b>Verschildruk</b>	14,39	14,39	14,59		
<b>B-factoren</b>				1,00	1,01
<b>Startwaarde</b>	324,75	324,84	326,14		
<b>Eindwaarde</b>	310,16	310,29	311,6		
<b>Verschildruk</b>	-14,59	-14,55	-14,54		
<b>B-factoren</b>				1,00	0,99

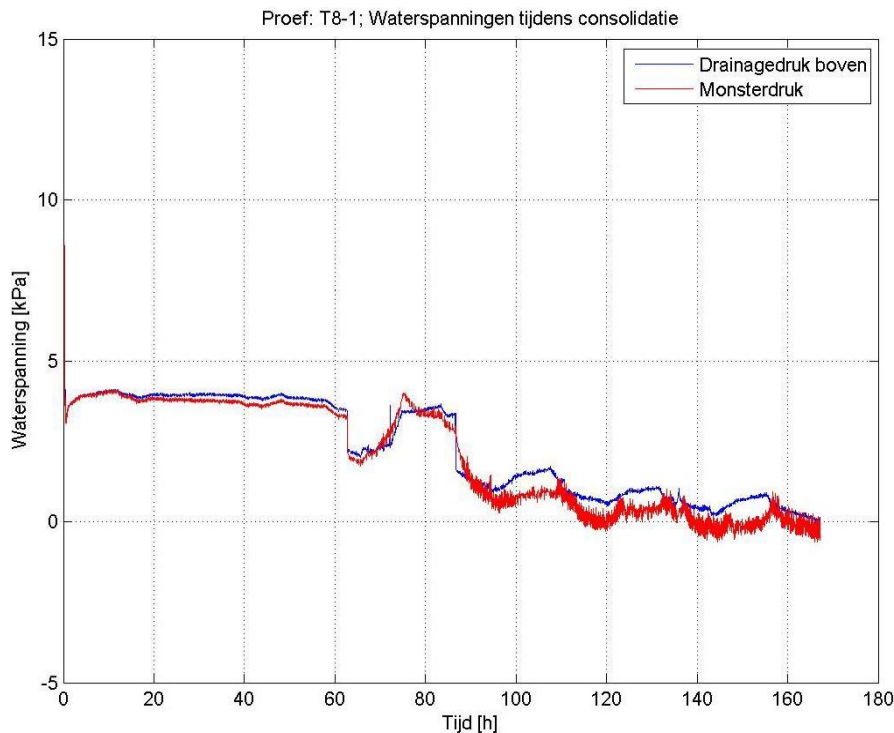
## Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure

Voor het aanbrengen van de backpressure lekkage aan de onderrand van de celwand. Drainagekranen dichtgedraaid, celwand verwijderd en schoongemaakt, Cel weer opgebouwd en proef gecontinueerd.

Tijdens aanbrengen Backpressure lekkage tussen de naald en de drukopnemer voor de monsterdruk. Aanbrengen backpressure afgebroken en aansluiting vervangen, hierna backpressure aanbrengen opnieuw gestart.

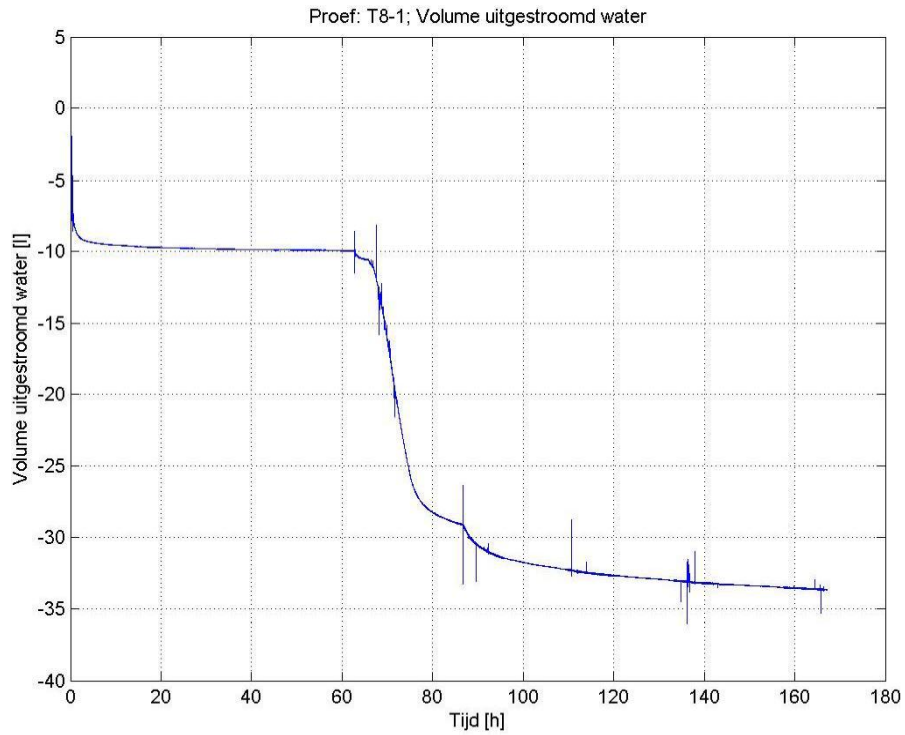
Bij aanvang isotrope consolidatie is in eerste instantie per abuis de drainagedruk verhoogd in plaats van de celdruk, na ontdekking onmiddellijk gecorrigeerd.

## Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd

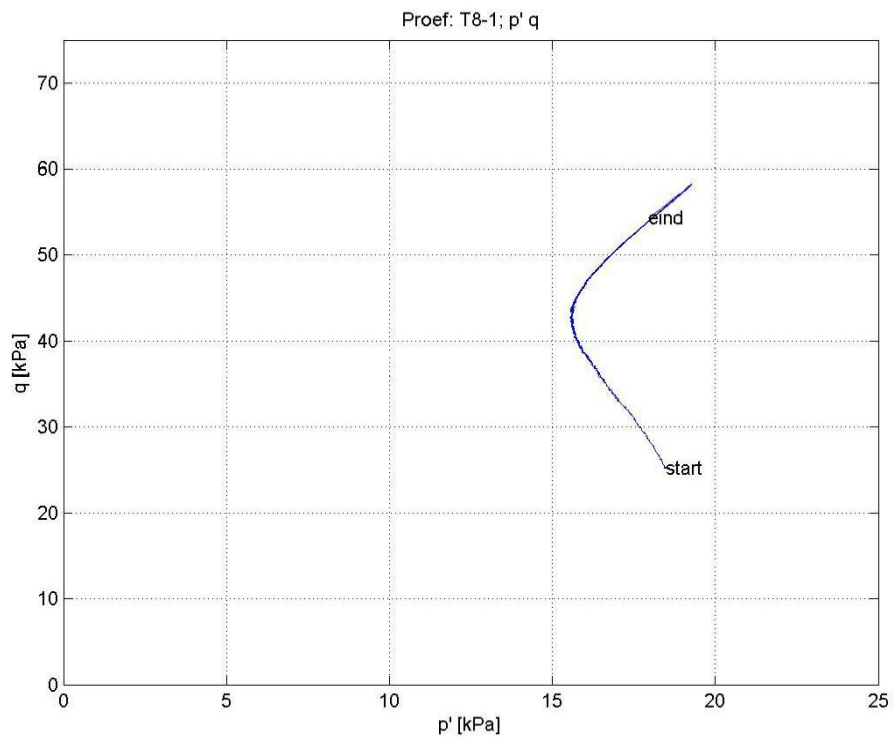




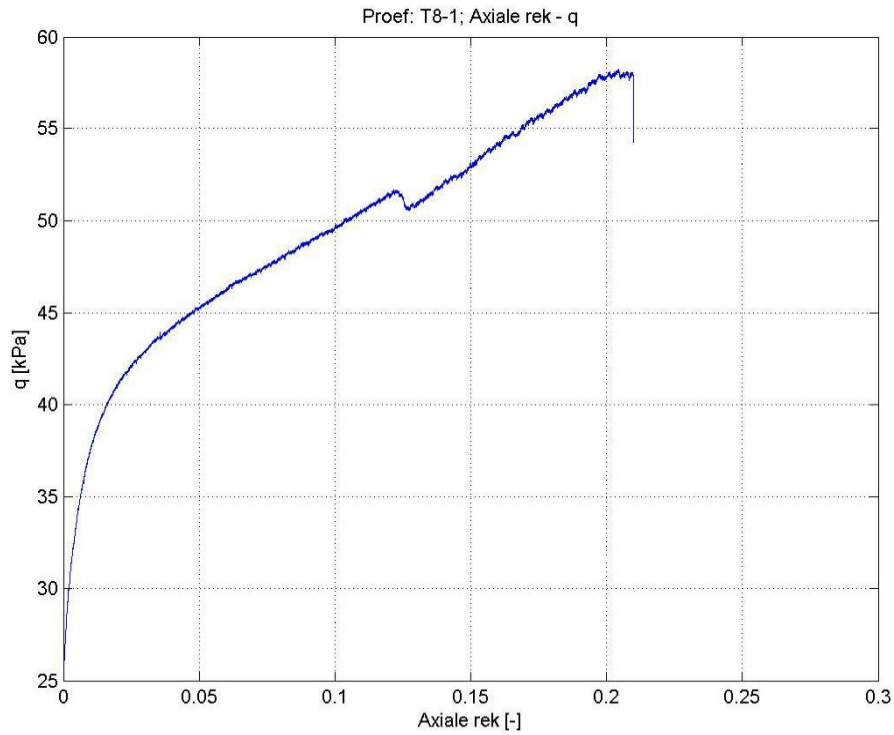
**Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd**



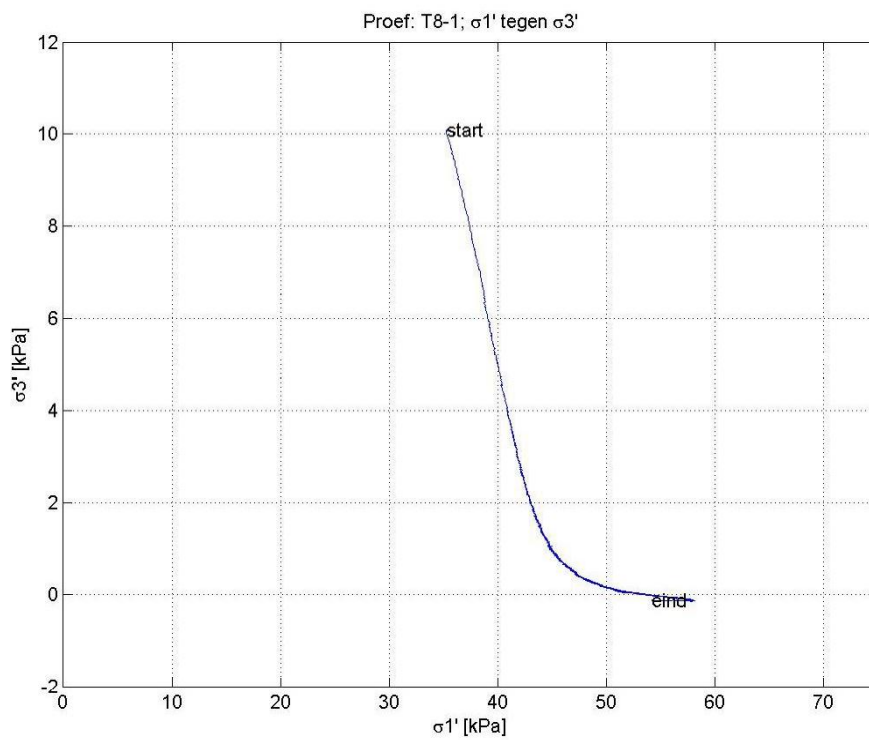
**Grafiek afschuiven:  $p' - q$**



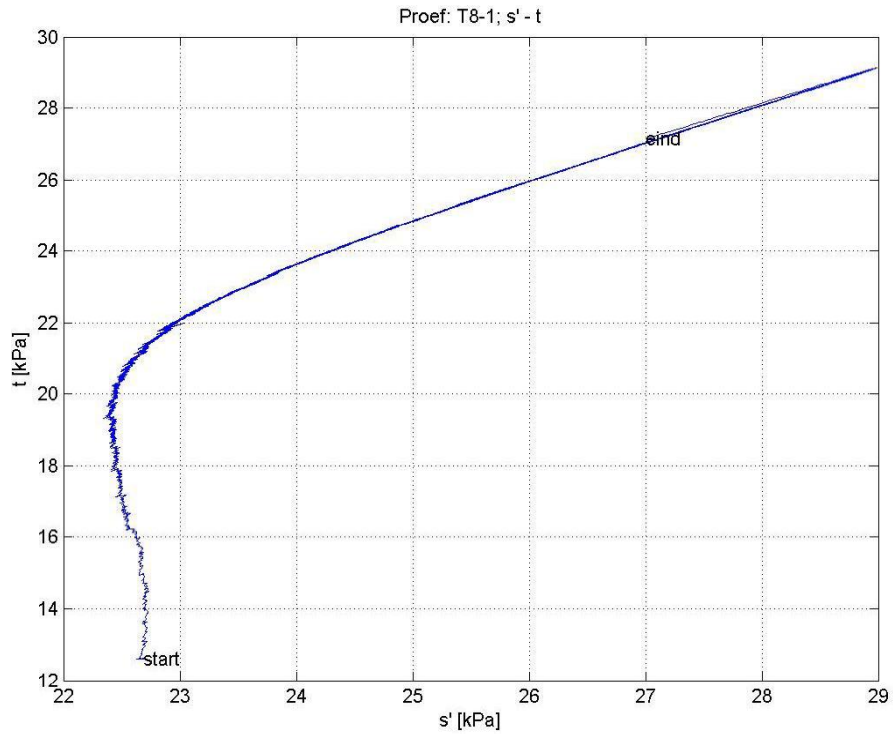
## Grafiek afschuiven: Axiale rek – q



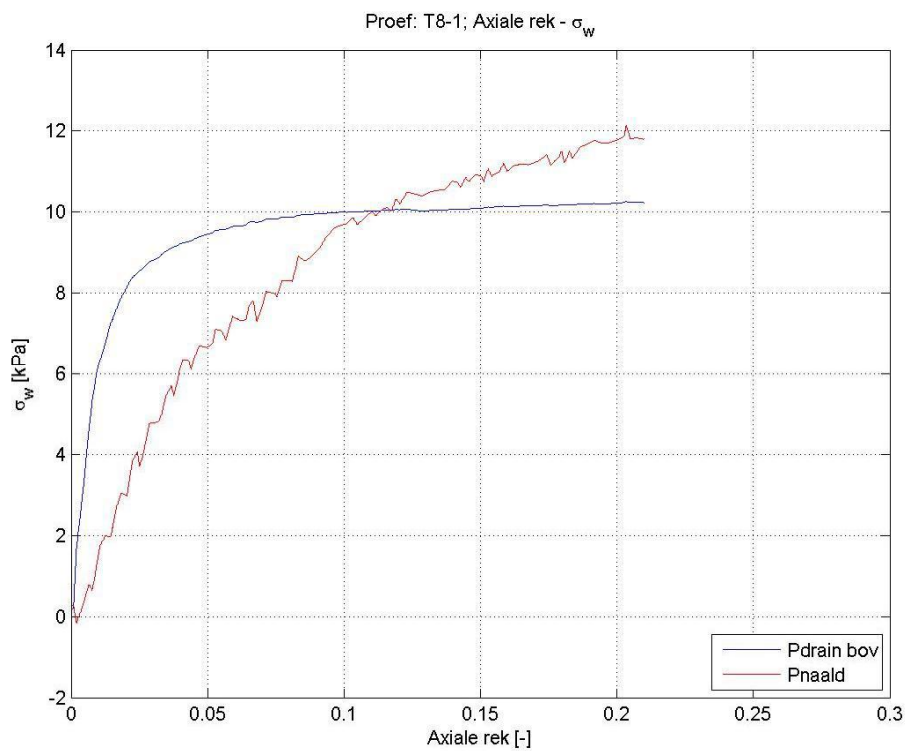
## Grafiek afschuiven: $\sigma_1 - \sigma_3$



**Grafiek afschuiven: s - t**



**Grafiek afschuiven: Axiale rek -  $\sigma_w$**





## H Monster T8

Foto's van het monster, na de proef



### Watergehaltes voor de proef

ID nummer monsterbakje	<b>F43</b>
Gewicht monsterbakje (gr)	81,70
Totaalgewicht nat (gr)	179,57
Totaalgewicht droog (gr)	90,70
Gewicht verdampt water (gr)	88,87
Oorspronkelijk watergehalte (%)	987,44

### Watergehaltes na de proef

ID nummer monsterbakje	<b>F43</b>	<b>SR2</b>	<b>B10</b>	<b>B10</b>
Gewicht monsterbakje (gr)	81,70	82,97	84,61	88,87
Totaalgewicht nat (gr)	181,58	177,98	182,19	189,36
Totaalgewicht droog (gr)	95,74	97,82	98,70	105,50
Gewicht verdampt water (gr)	85,84	80,16	83,49	83,86
Oorspronkelijk watergehalte (%)	611,40	539,80	592,55	504,27

### Hoogte en gewicht monster na trimmen

Hoogte 75cm bij Ø40cm

Gewicht 93,8kg

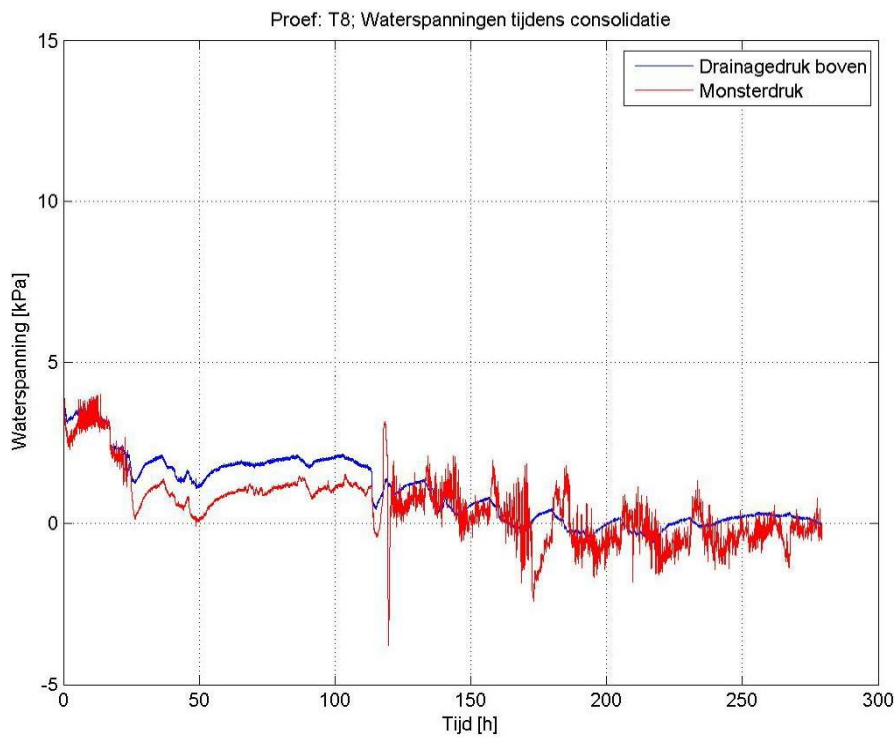
## B-factoren

	P cel	P drain	P monster	B-factor (Pdrain/Pcel)	B-factor (Pmonster/Pcel)
Startwaarde	310,36	310,45	311,55		
Eindwaarde	324,75	324,84	326,14		
Verschildruk	14,39	14,39	14,59		
B-factoren				1,00	1,01
Startwaarde	324,75	324,84	326,14		
Eindwaarde	310,16	310,29	311,60		
Verschildruk	-14,59	-14,55	-14,54		
B-factoren				1,00	0,99

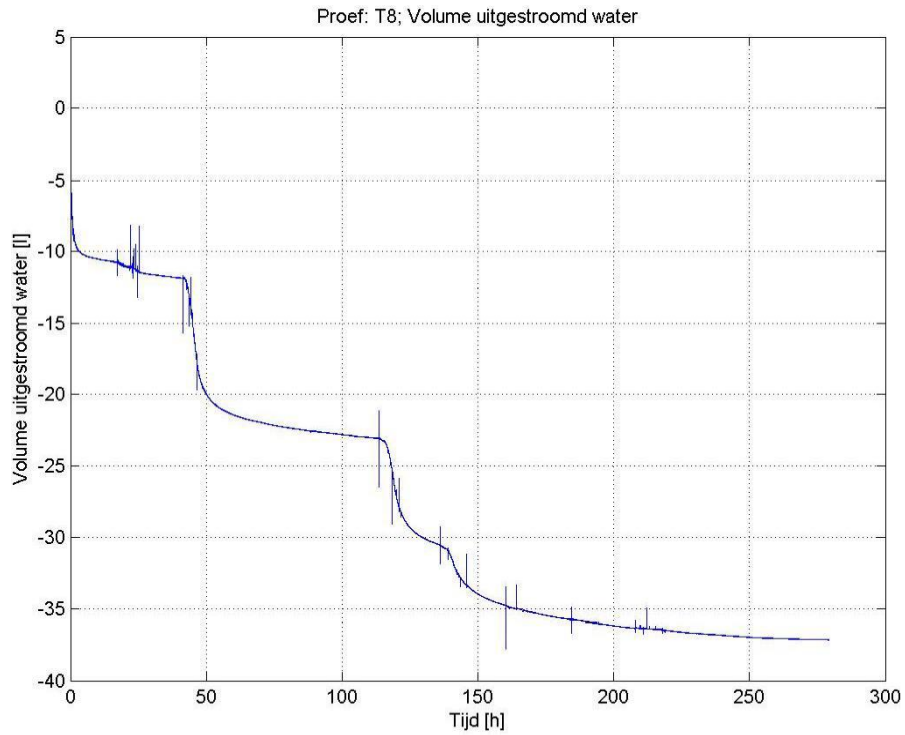
## Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure

Bij aanbrengen Backpressure kleine lekkage aan aansluiting naald voor meting monsterdruk, onmiddellijk verholpen.

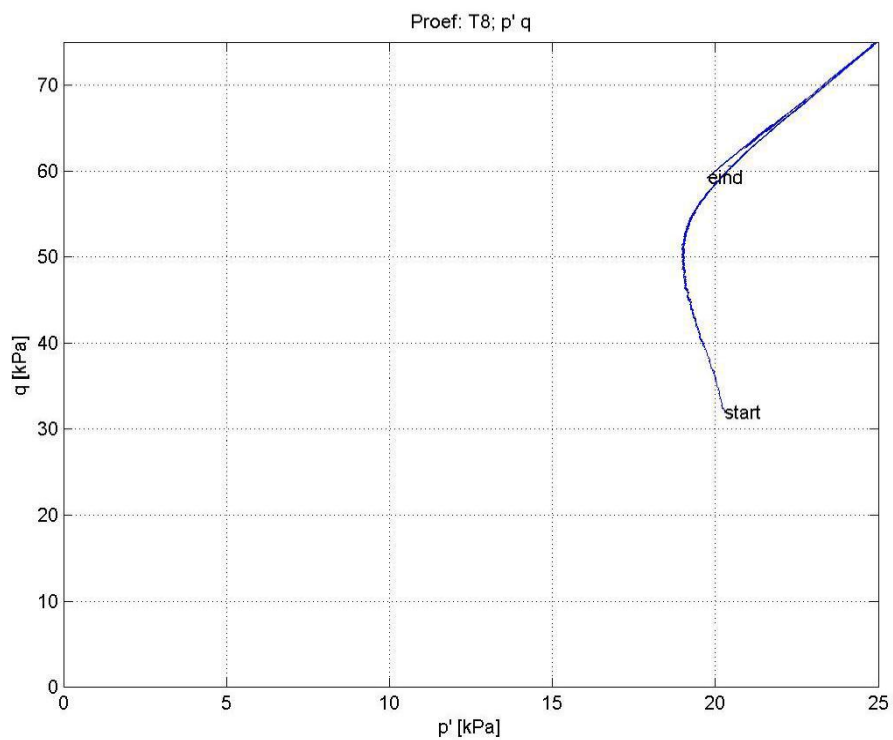
## Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd



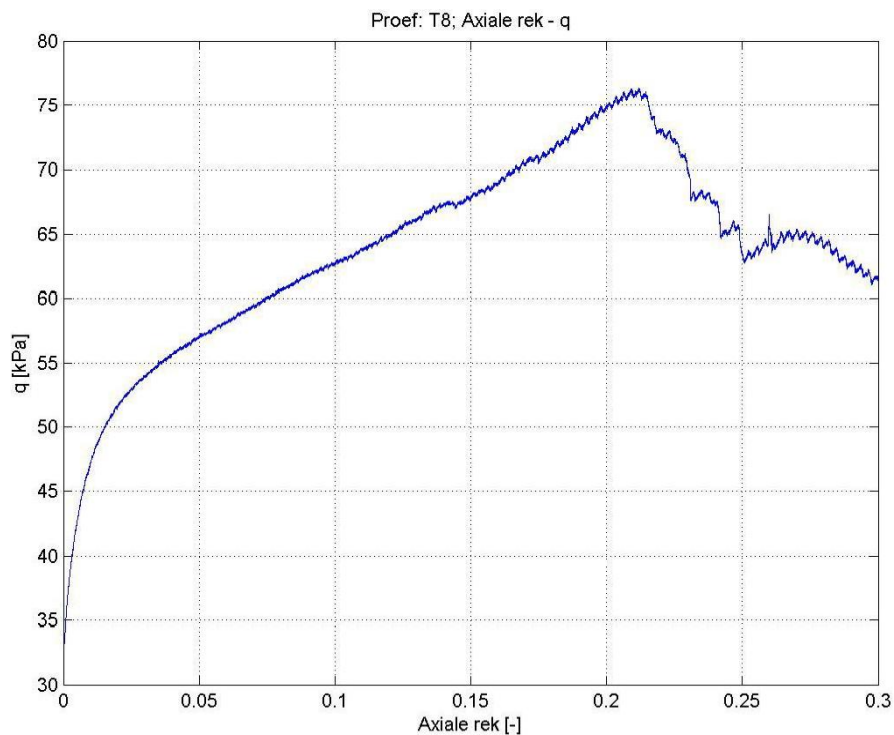
**Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd**



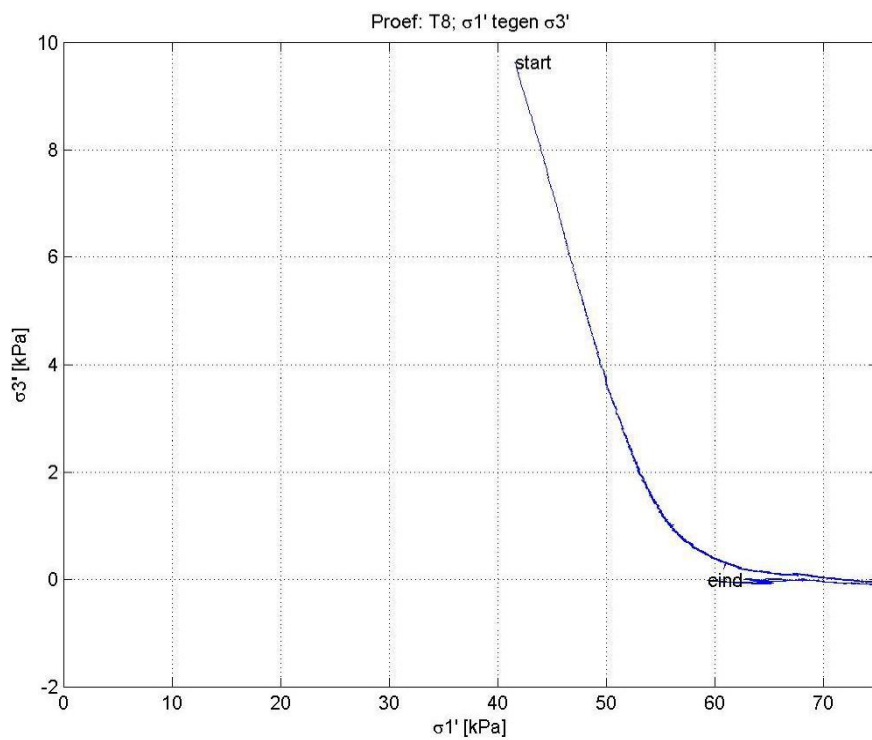
**Grafiek afschuiven:  $p'$  –  $q$**



## Grafiek afschuiven: Axiale rek – q

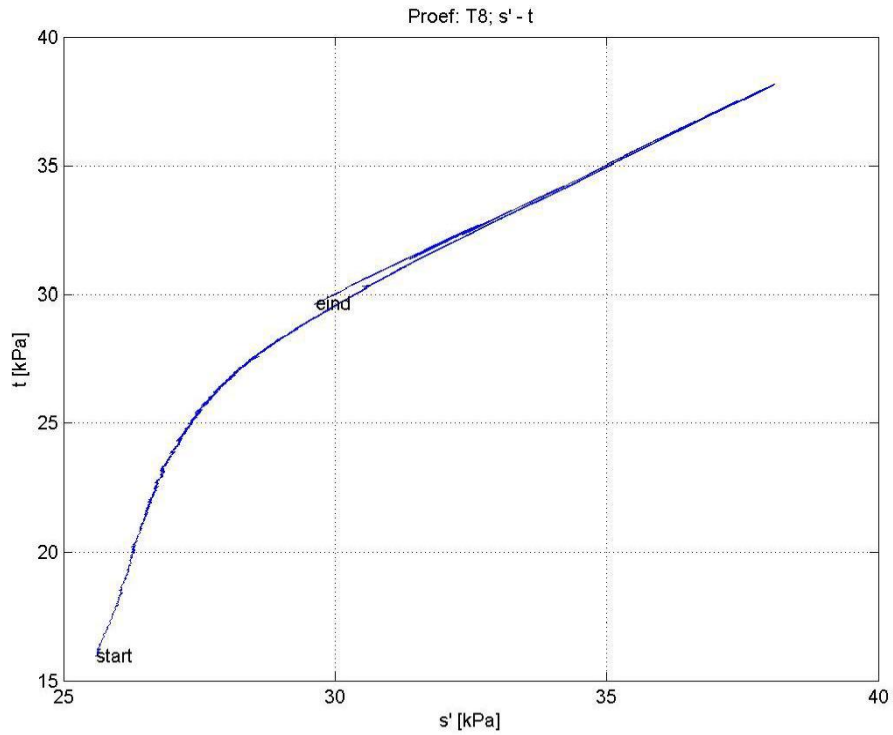


## Grafiek afschuiven: $\sigma_1 - \sigma_3$

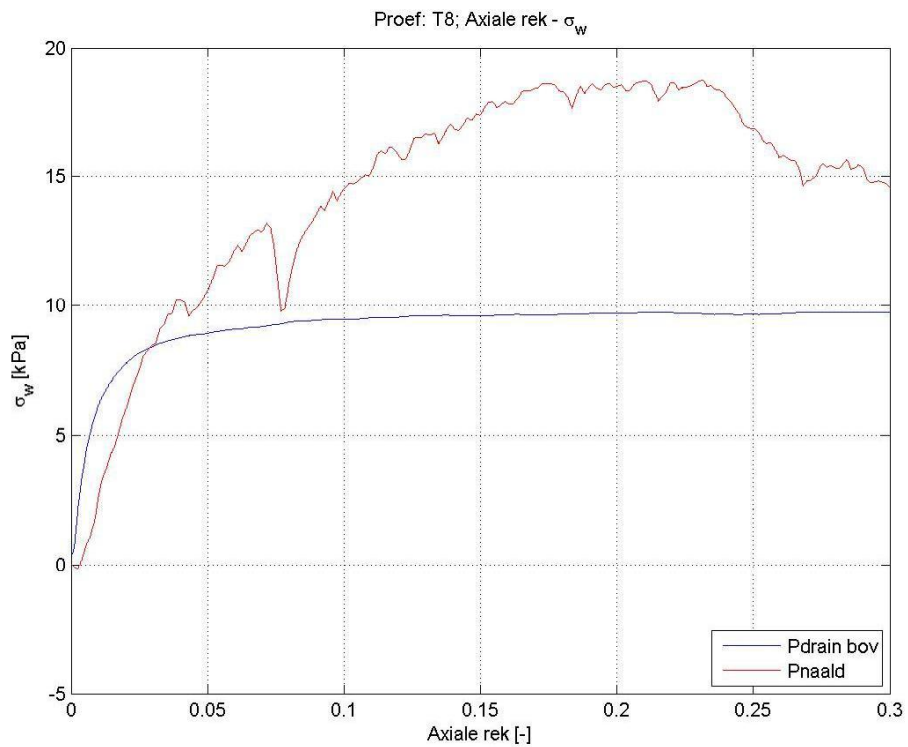




**Grafiek afschuiven: s - t**



**Grafiek afschuiven: Axiale rek -  $\sigma_w$**





## I Monster T7

Foto's van het monster, na de proef



### Watergehalten voor de proef

ID nummer monsterbakje	<b>B28</b>
Gewicht monsterbakje (gr)	81,29
Totaalgewicht nat (gr)	152,25
Totaalgewicht droog (gr)	88,11
Gewicht verdampt water (gr)	64,14
Oorspronkelijk watergehalte (%)	940,47

### Watergehalten na de proef

ID nummer monsterbakje	<b>A57</b>	<b>C71</b>	<b>X10</b>	<b>C36</b>
Gewicht monsterbakje (gr)	88,88	82,05	102,97	83,58
Totaalgewicht nat (gr)	188,42	179,28	201,94	167,48
Totaalgewicht droog (gr)	103,98	97,84	117,98	96,35
Gewicht verdampt water (gr)	84,44	81,44	83,96	71,13
Oorspronkelijk watergehalte (%)	559,21	515,77	559,36	557,01

### Hoogte en gewicht monster na trimmen

Hoogte 75cm bij Ø40cm

Gewicht 92,7kg

## B-factoren

	P cel	P drain	P monster	B-factor (Pdrain/Pcel)	B-factor (Pmonster/Pcel)
<b>Startwaarde</b>	310,42	311,7	307,71		
<b>Eindwaarde</b>	320,85	322,15	318,18		
<b>Verschildruk</b>	10,43	10,45	10,47		
<b>B-factoren</b>				1,00	1,00
<b>Startwaarde</b>	320,85	322,15	318,18		
<b>Eindwaarde</b>	310,33	311,61	307,59		
<b>Verschildruk</b>	-10,52	-10,54	-10,59		
<b>B-factoren</b>				1,00	1,01

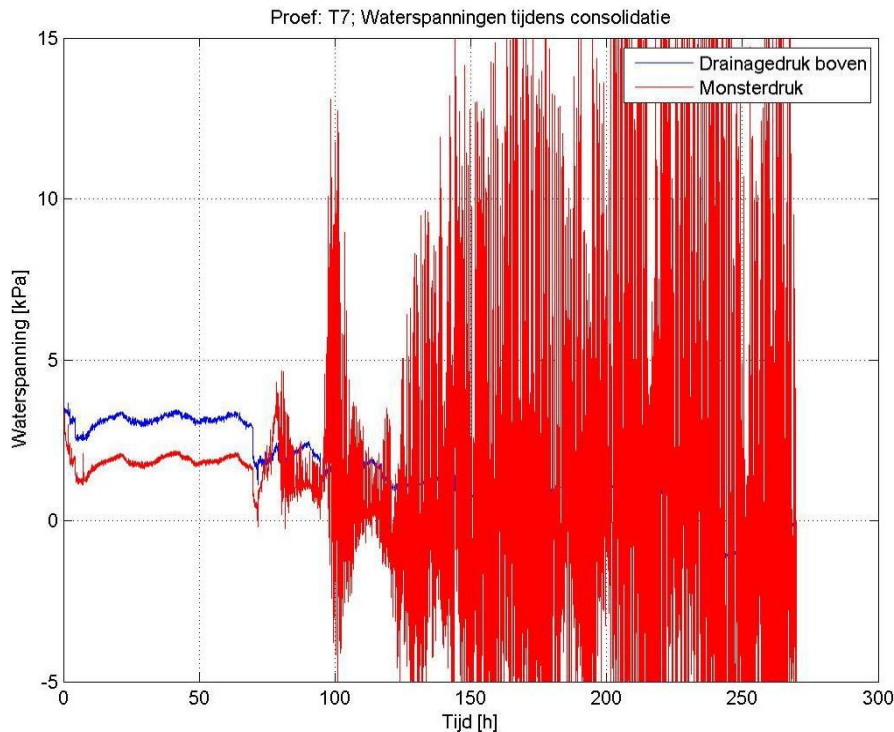
## Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure

Voor aanbrengen Backpressure ontdekt dat de drukopnemer voor Drainage druk onder niet goed in de swagelock koppeling was gedrukt. Onmiddellijk verholpen.

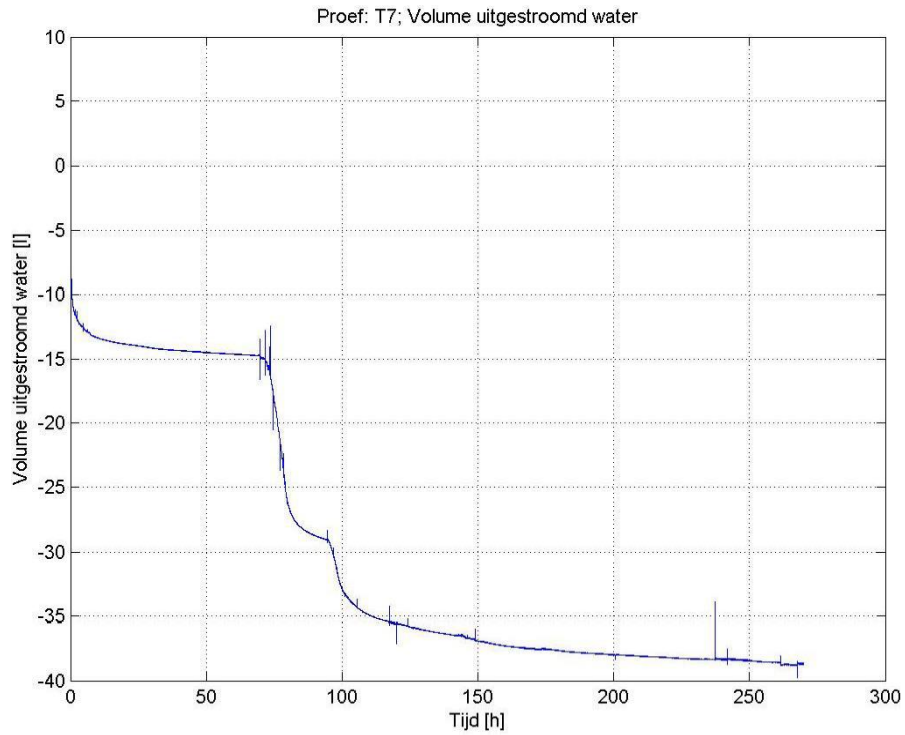
Tijdens de Anisotrope consolidatie is de hydraulische sturing gecrasht, deze is opnieuw opgestart. In de tussentijd is de plunjer 4mm omhoog geduwd als gevolg van de aanwezige celdruk.

Tijdens consolidatie is de naaldopnemer instabiel geworden.

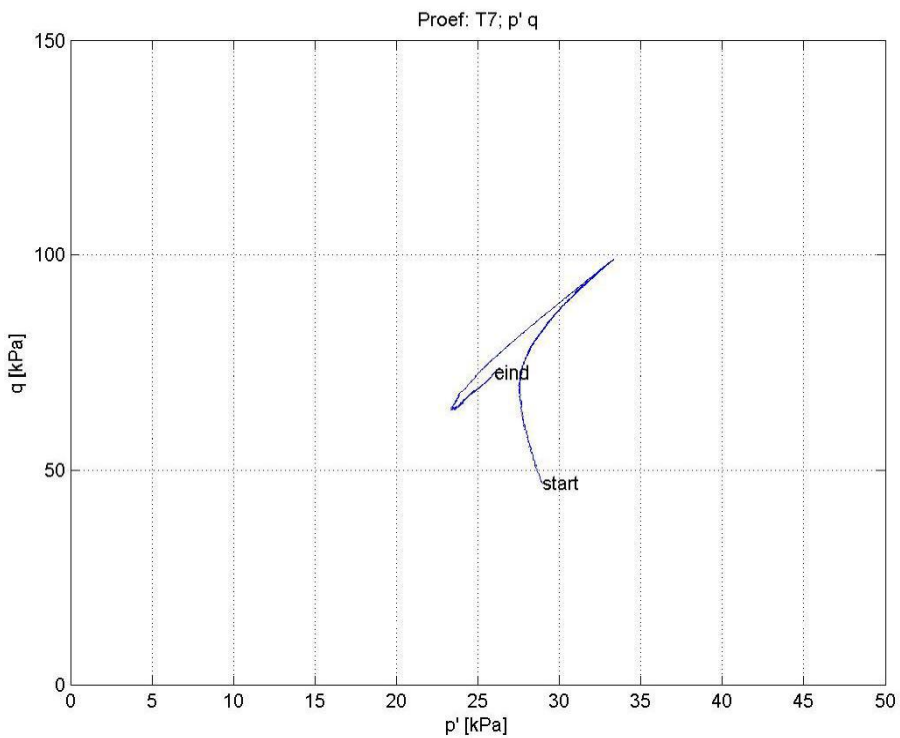
## Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd



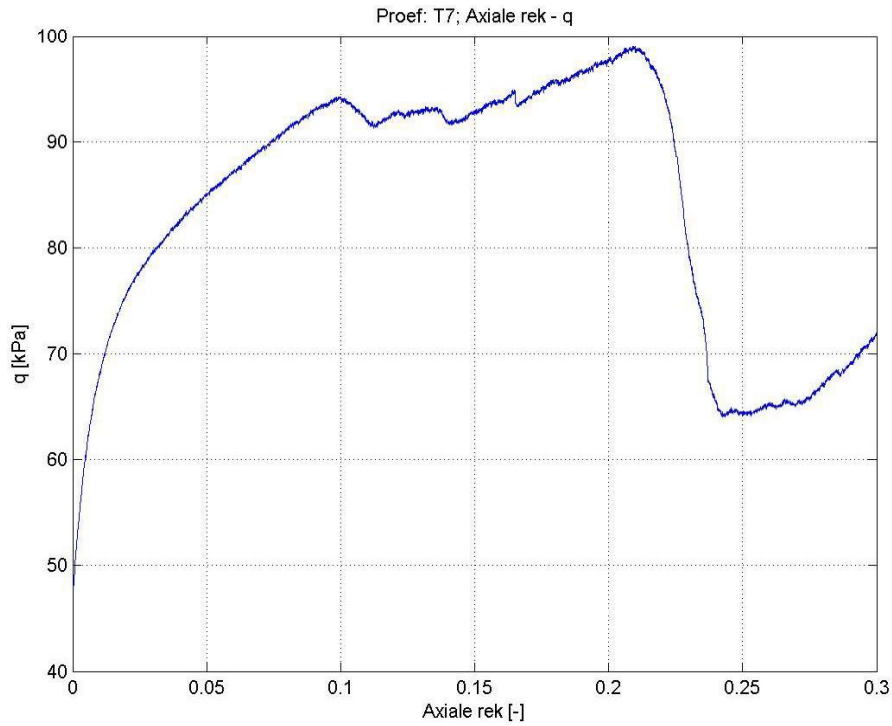
**Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd**



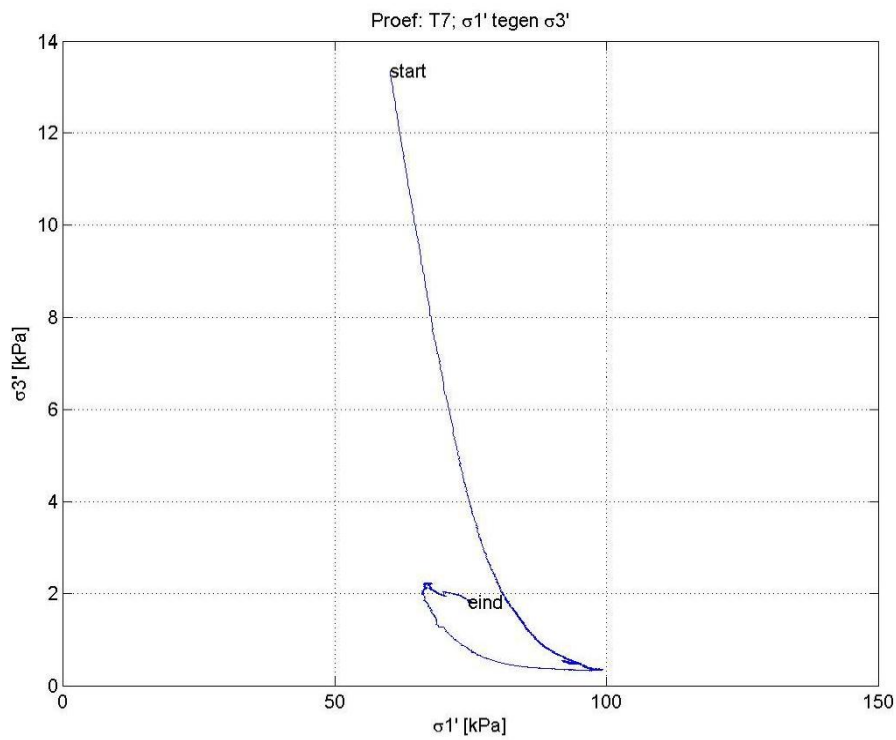
**Grafiek afschuiven:  $p'$  –  $q$**



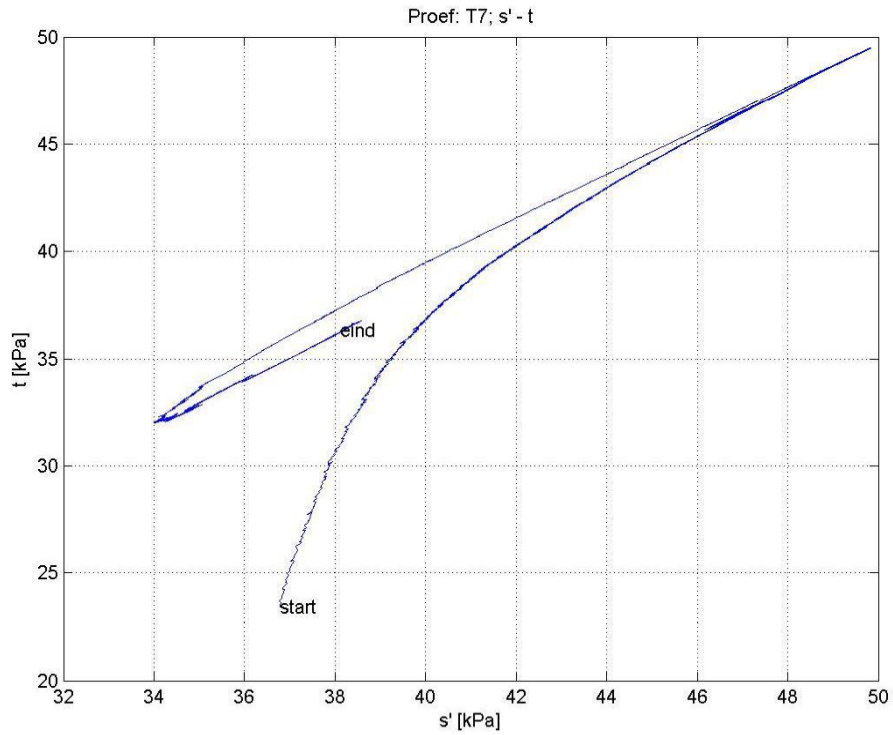
## Grafiek afschuiven: Axiale rek – q



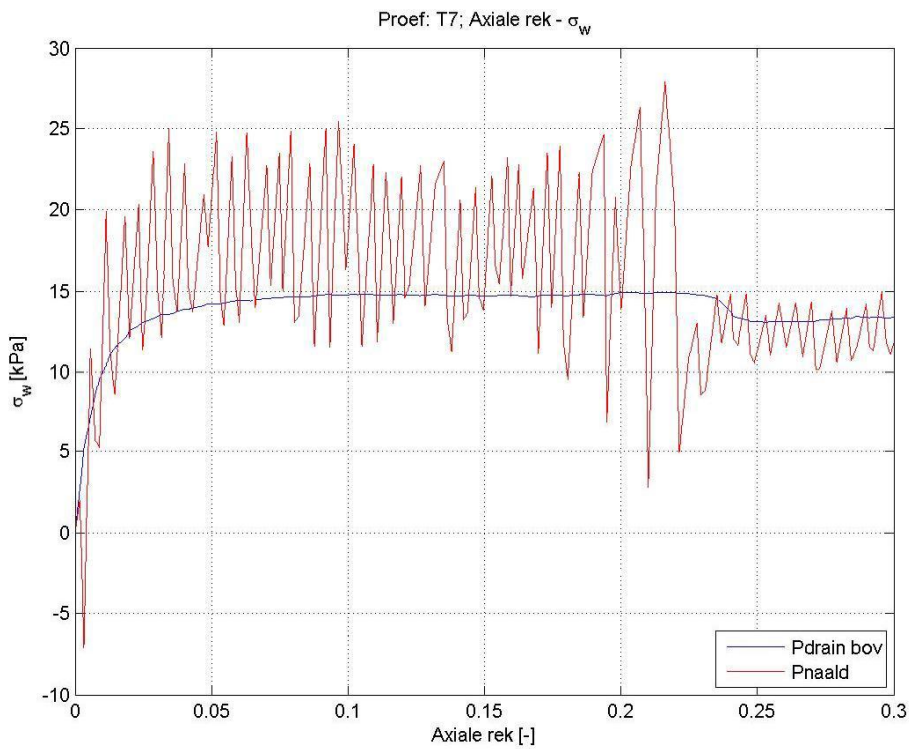
## Grafiek afschuiven: $\sigma_1 - \sigma_3$



**Grafiek afschuiven: s - t**



**Grafiek afschuiven: Axiale rek -  $\sigma_w$**







## J Monster T6-3

Foto's van het monster, na de proef



### Watergehaltes voor de proef

ID nummer monsterbakje	<b>A34</b>
Gewicht monsterbakje (gr)	81,77
Totaalgewicht nat (gr)	201,87
Totaalgewicht droog (gr)	92,06
Gewicht verdampt water (gr)	109,81
Oorspronkelijk watergehalte (%)	1067,15

### Watergehaltes na de proef

	<b>SR2</b>	<b>GO14</b>	<b>A33</b>	<b>F32</b>
ID nummer monsterbakje				
Gewicht monsterbakje (gr)	82,98	95,50	81,10	81,10
Totaalgewicht nat (gr)	180,50	195,65	172,15	179,38
Totaalgewicht droog (gr)	101,50	113,50	98,80	97,60
Gewicht verdampt water (gr)	79,00	82,15	73,35	81,78
Oorspronkelijk watergehalte (%)	426,57	456,39	414,41	495,64

## Hoogte en gewicht monster na trimmen

Hoogte 75cm bij Ø40cm

Gewicht 98,9kg

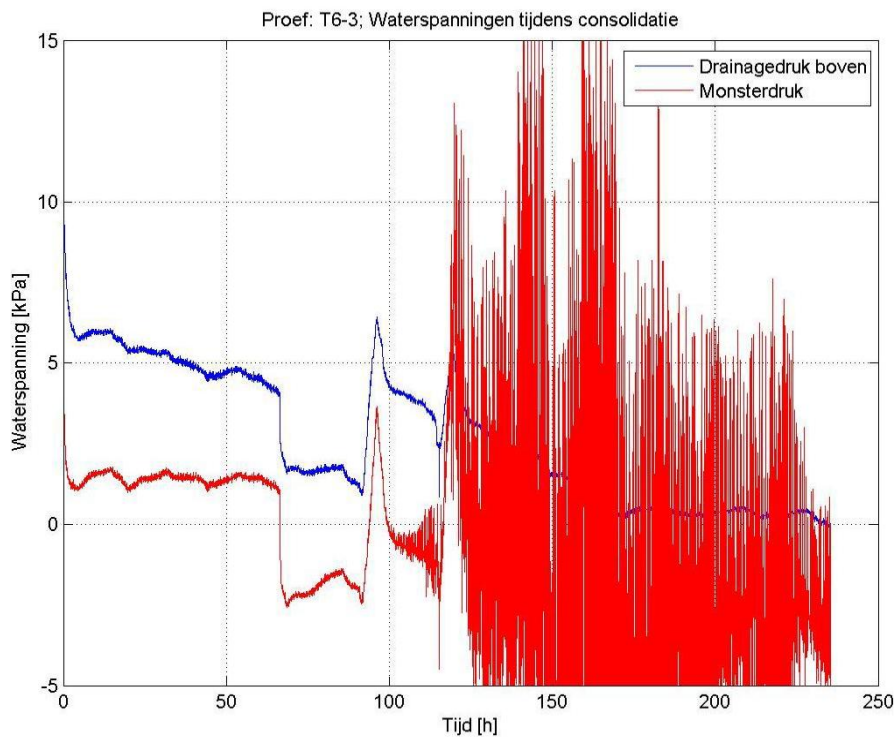
### B-factoren

	P cel	P drain	P monster	B-factor (Pdrain/Pcel)	B-factor (Pmonster/Pcel)
Startwaarde	310,33	309,88	308,58		
Eindwaarde	321,26	320,7	319,49		
Verschildruk	10,93	10,82	10,91		
B-factoren				1,00	1,00
Startwaarde	321,26	320,7	319,49		
Eindwaarde	310,65	310,17	308,88		
Verschildruk	-10,61	-10,53	-10,61		
B-factoren				0,99	1,00

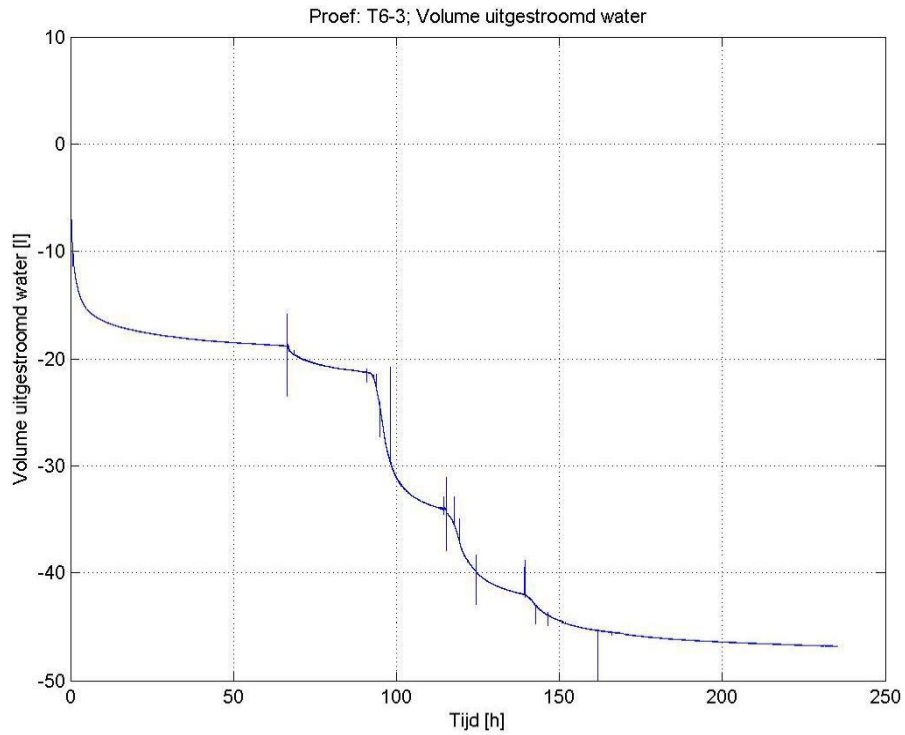
### Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure

Geen opmerkingen

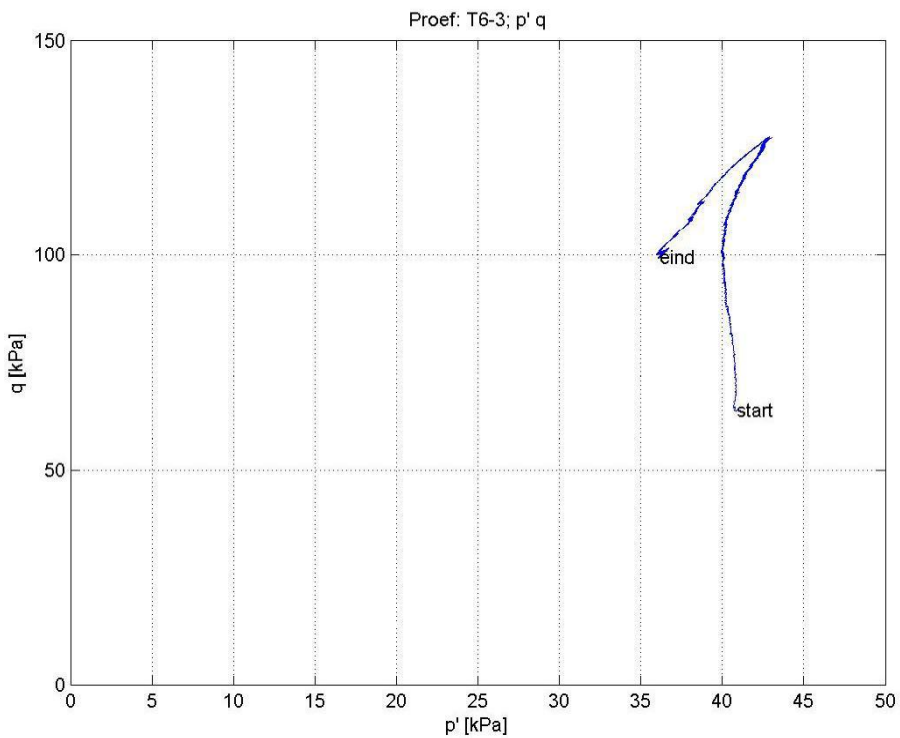
### Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd



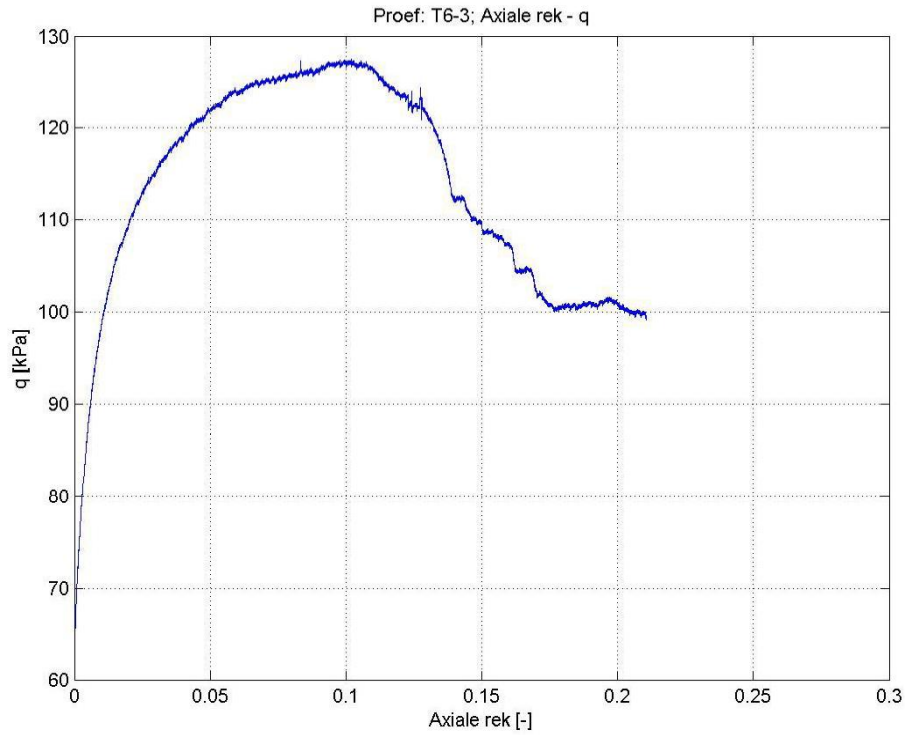
**Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd**



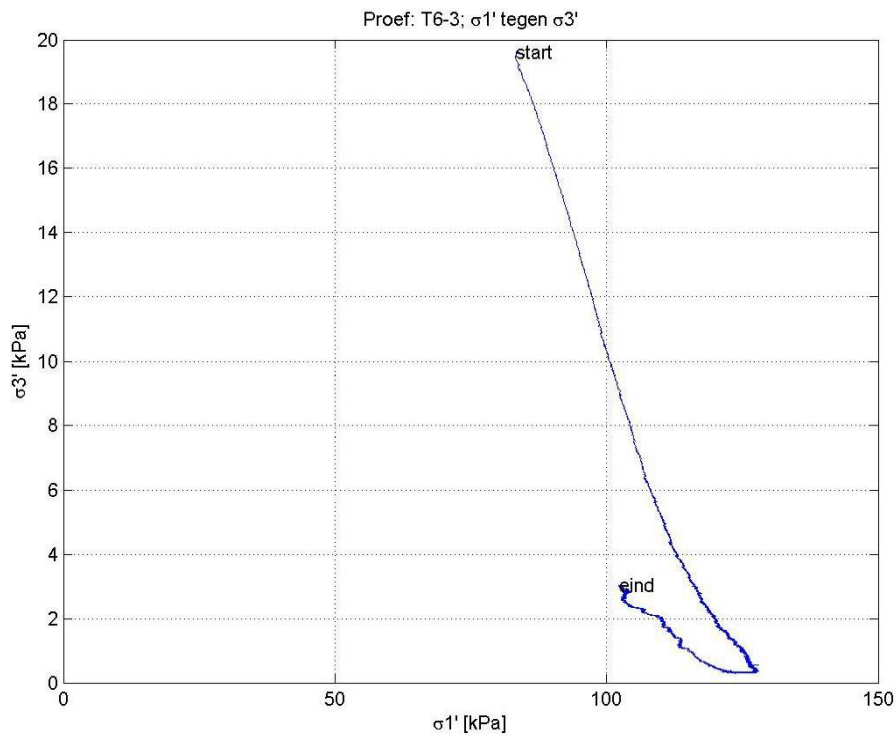
**Grafiek afschuiven:  $p' - q$**



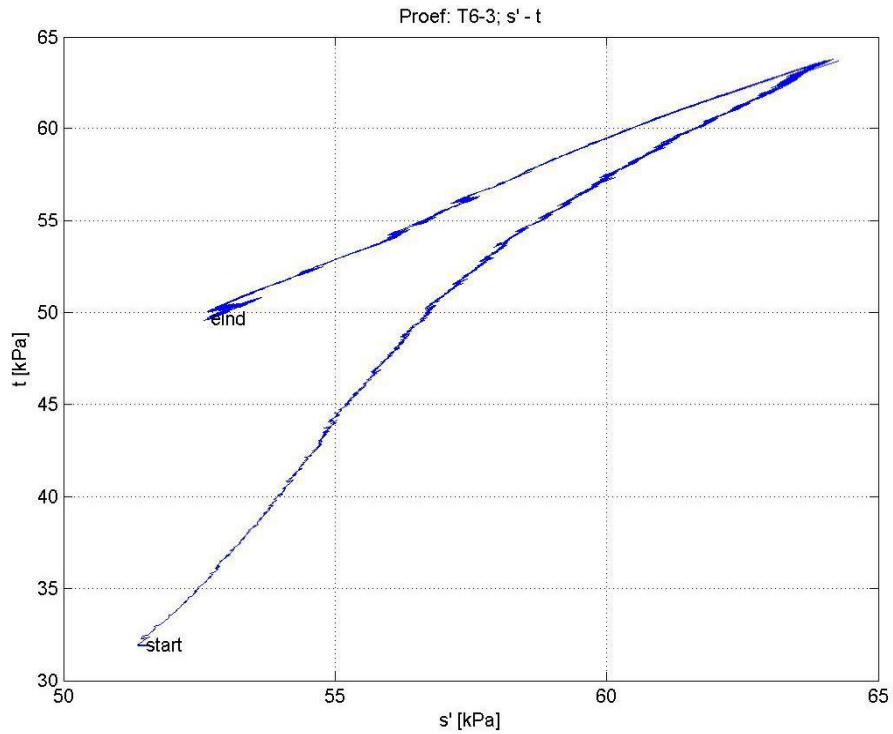
## Grafiek afschuiven: Axiale rek – q



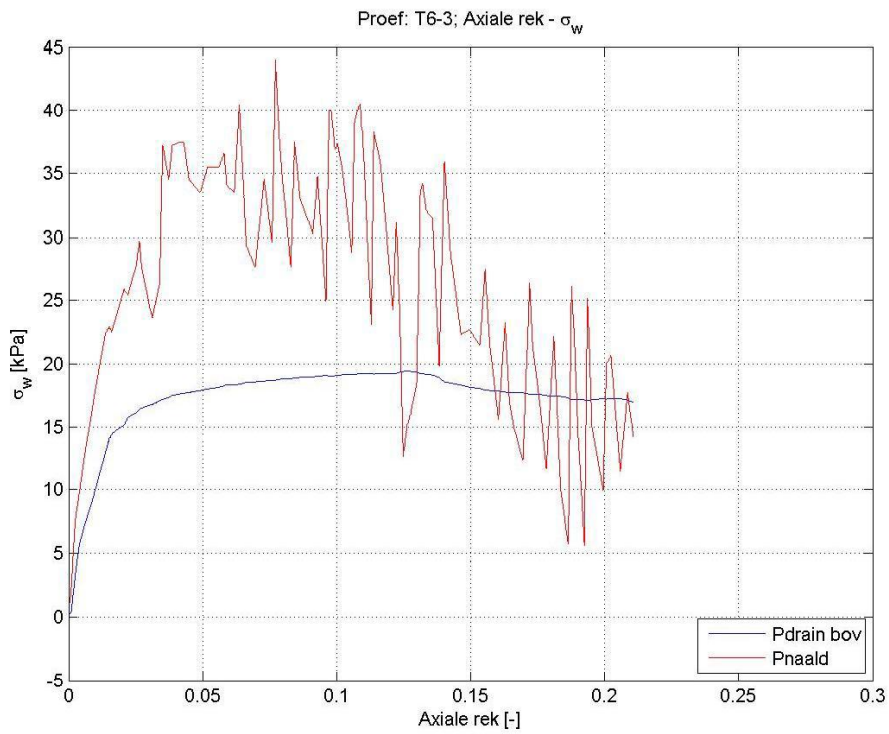
## Grafiek afschuiven: $\sigma_1 - \sigma_3$



**Grafiek afschuiven: s - t**



**Grafiek afschuiven: Axiale rek -  $\sigma_w$**





## K Monster T9

Foto's van het monster, na de proef



### Watergehalten voor de proef

ID nummer monsterbakje	<b>F43</b>
Gewicht monsterbakje (gr)	81,70
Totaalgewicht nat (gr)	163,50
Totaalgewicht droog (gr)	89,30
Gewicht verdampt water (gr)	74,20
Oorspronkelijk watergehalte (%)	976,32

### Watergehalten na de proef

ID nummer monsterbakje	<b>B16</b>	<b>GO14</b>	<b>A57</b>	<b>F50</b>
Gewicht monsterbakje (gr)	79,00	95,50	88,90	83,10
Totaalgewicht nat (gr)	171,90	194,30	189,30	181,70
Totaalgewicht droog (gr)	96,40	113,10	105,00	100,60
Gewicht verdampt water (gr)	75,50	81,20	84,30	81,10
Oorspronkelijk watergehalte (%)	433,91	461,36	523,60	463,43

## Hoogte en gewicht monster na trimmen

Hoogte 75cm bij Ø40cm

Gewicht 92,4kg

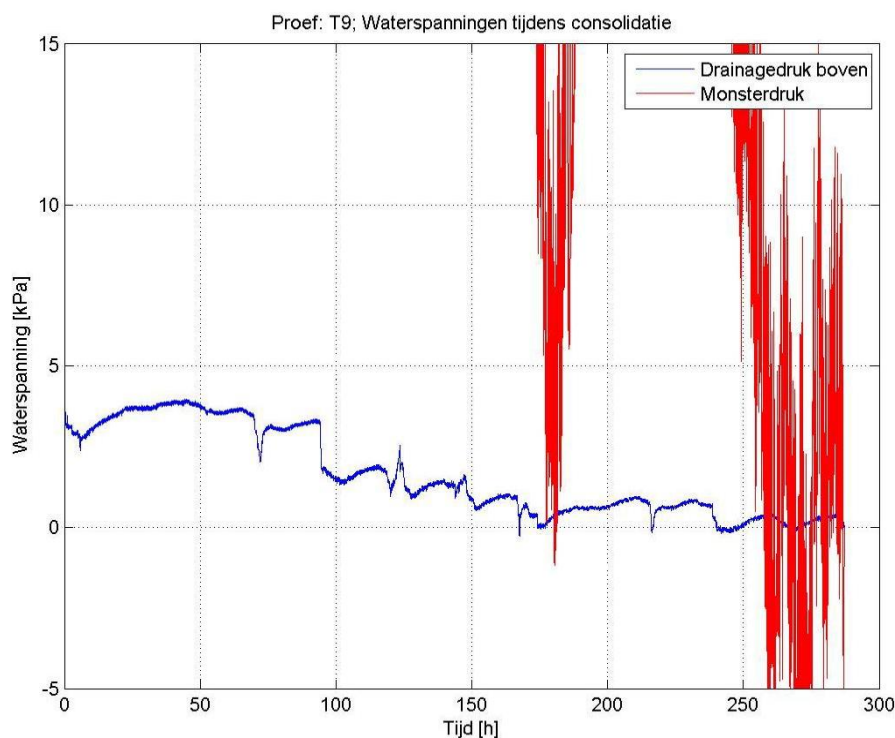
## B-factoren

	P cel	P drain	P monster	B-factor (Pdrain/Pcel)	B-factor (Pmonster/Pcel)
Startwaarde	310,88	309,89	308,4		
Eindwaarde	320,56	319,4	318,11		
Verschildruk	9,68	9,51	9,71		
<b>B-factoren</b>				0,98	1,00
Startwaarde	320,56	319,4	318,11		
Eindwaarde	309,96	308,76	307,42		
Verschildruk	-10,60	-10,64	-10,69		
<b>B-factoren</b>				1,00	1,01

## Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure

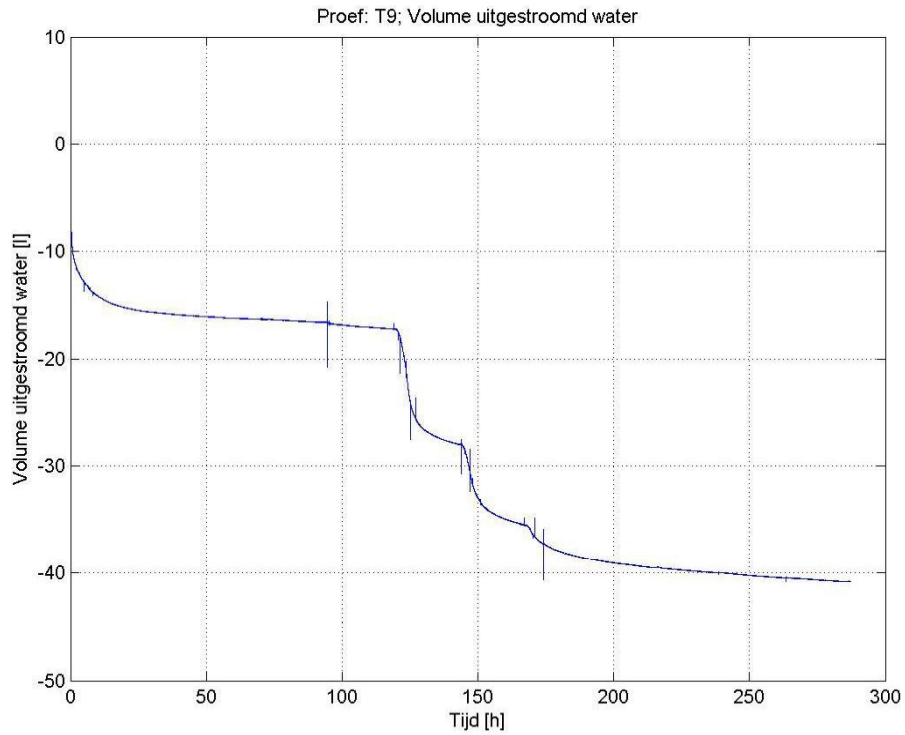
Geen opmerkingen

## Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd

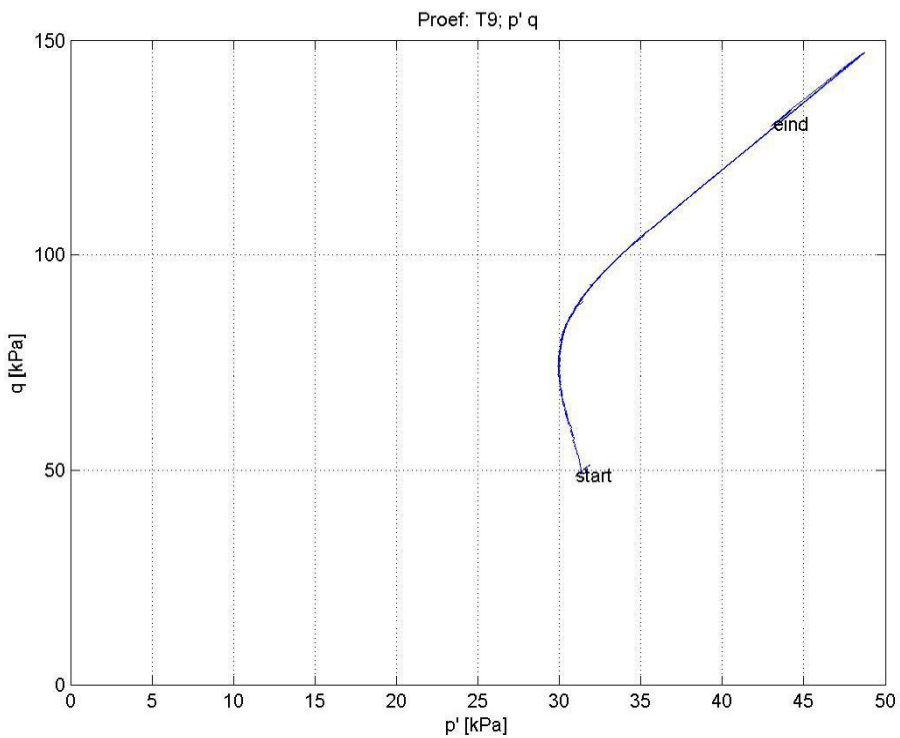




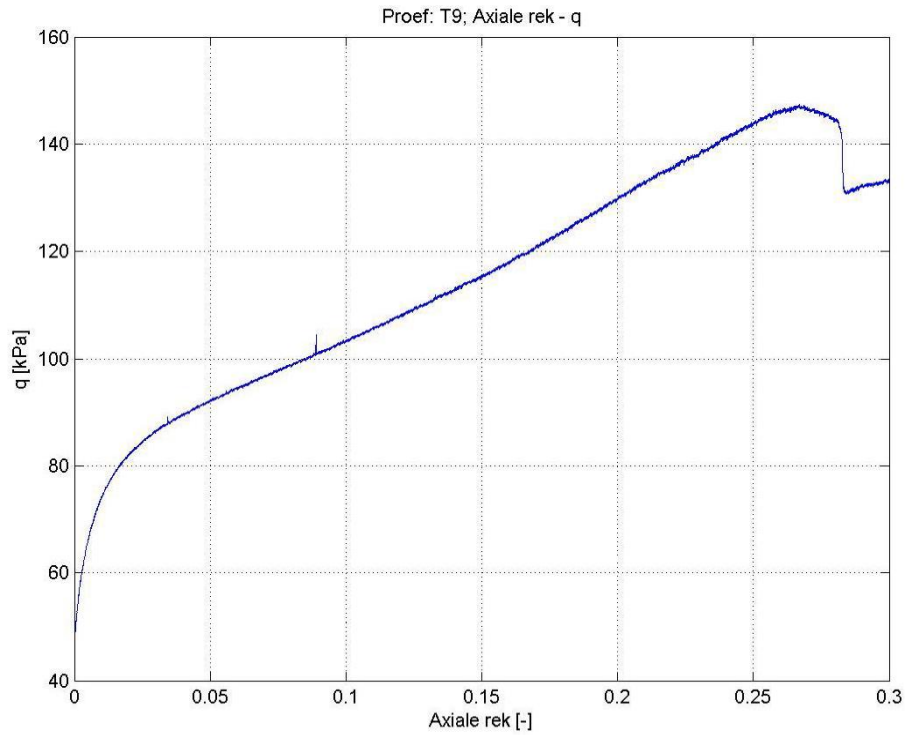
**Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd**



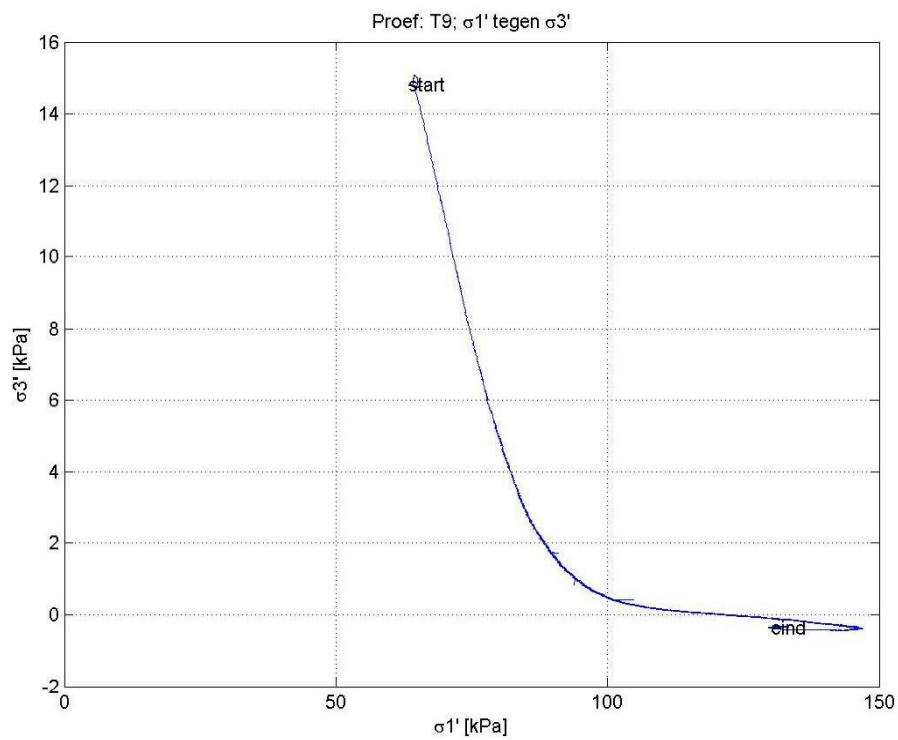
**Grafiek afschuiven:  $p'$  –  $q$**



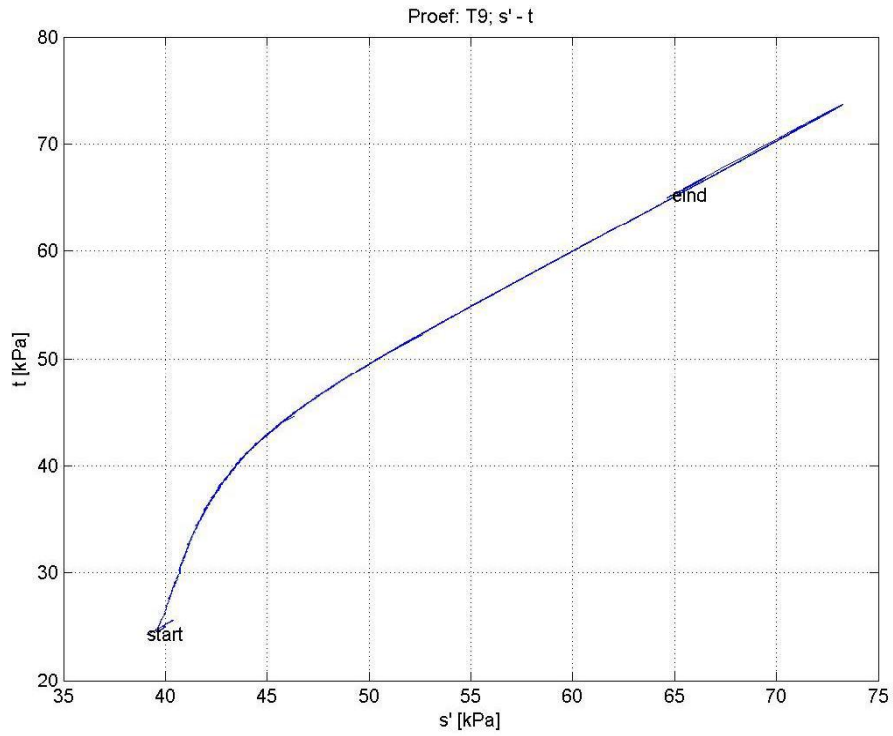
## Grafiek afschuiven: Axiale rek – q



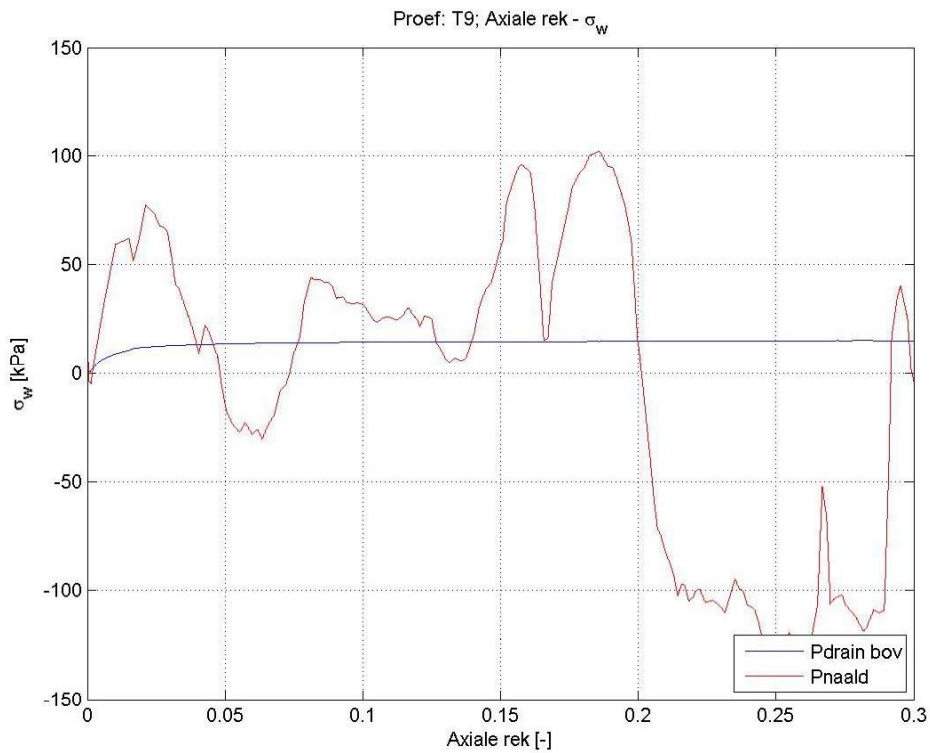
## Grafiek afschuiven: $\sigma_1 - \sigma_3$



**Grafiek afschuiven: s - t**



**Grafiek afschuiven: Axiale rek -  $\sigma_w$**





## L Monster T9-1

Foto's van het monster, na de proef



## Watergehaltes voor de proef

ID nummer monsterbakje	<b>C36</b>
Gewicht monsterbakje (gr)	83.5
Totaalgewicht nat (gr)	180,2
Totaalgewicht droog (gr)	93.8
Gewicht verdampt water (gr)	
Oorspronkelijk watergehalte (%)	838,8

## Watergehaltes na de proef

ID nummer monsterbakje	<b>MH5</b>	<b>A10</b>	<b>B10</b>	<b>GL99</b>
Gewicht monsterbakje (gr)	95.1	89.4	84.6	81.8
Totaalgewicht nat (gr)	196.8	190.1	182.8	179.6
Totaalgewicht droog (gr)	115.6	108.9	103.6	99.5
Gewicht verdampt water (gr)				
Oorspronkelijk watergehalte (%)	396.1	416.4	416.8	99.5

## Hoogte en gewicht monster na trimmen

Hoogte 75cm bij Ø40cm

Gewicht 96,9kg

## B-factoren

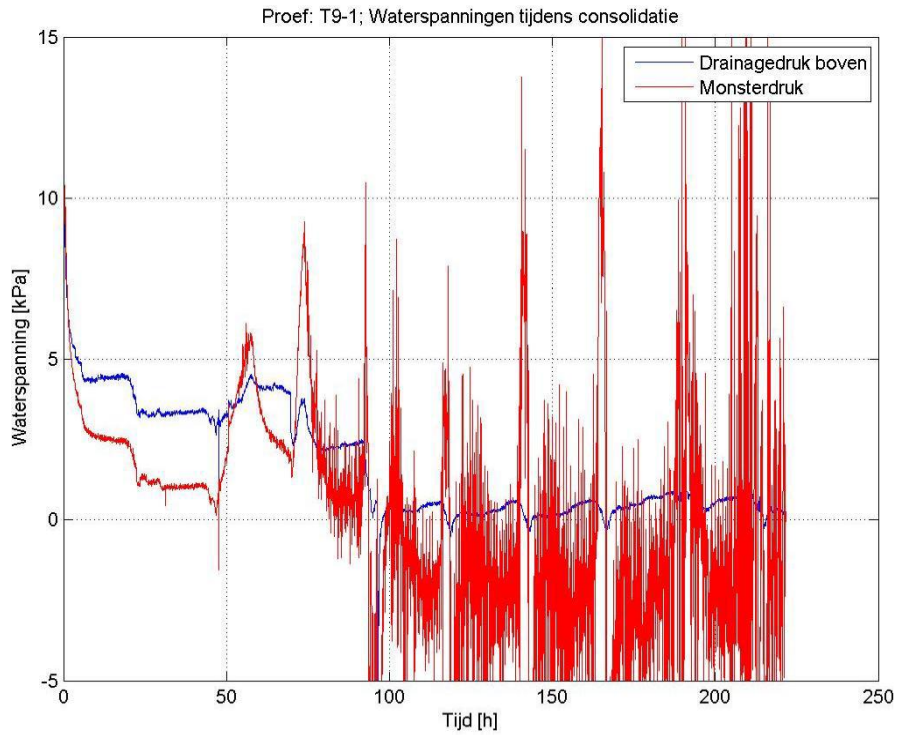
	P cel	P drain	P monster	B-factor (Pdrain/Pcel)	B-factor (Pmonster/Pcel)
Startwaarde	310,3	307,8	305,9		
Eindwaarde	325,3	322,7	320,8		
Verschildruk	15,00	14,90	14,90		
<b>B-factoren</b>				0,99	0,99
Startwaarde	325,3	322,7	320,8		
Eindwaarde	310,5	308	306,1		
Verschildruk	-14,80	-14,70	-14,70		
<b>B-factoren</b>				0,99	0,99

## Afwijkingen t.o.v. de standaard procedure

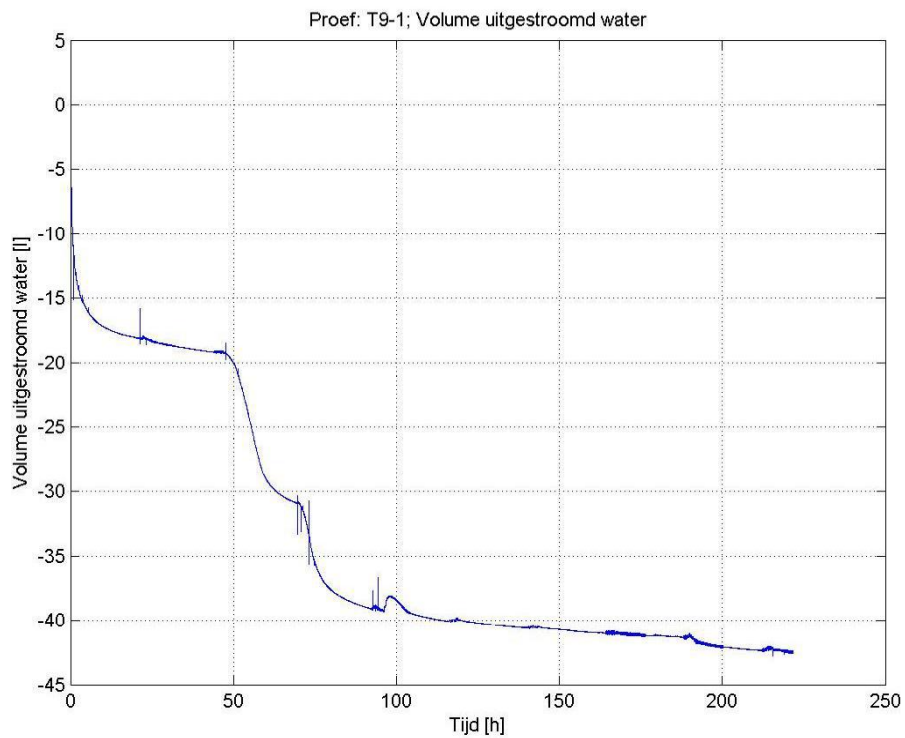
B-factoren bepaald terwijl de kraan tussen buret en monster open stond, nogmaals met gesloten kraan uitgevoerd, correcte resultaten staan hierboven.

Tijdens de start van de belastingsfase heeft de plunjer een plotselinge stap van ca 1.5 mm (ca 0.3 %) gemaakt. Hierdoor is in de grafieken van de belastingsfase een vreemde sprong zichtbaar.

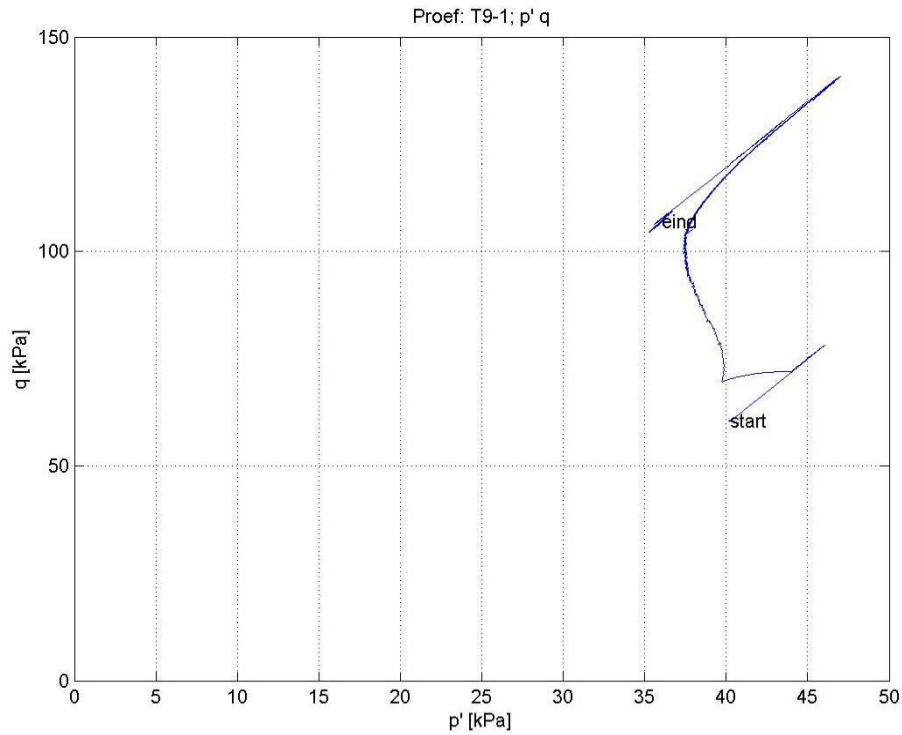
**Grafiek consolidatie: WSM tegen tijd**



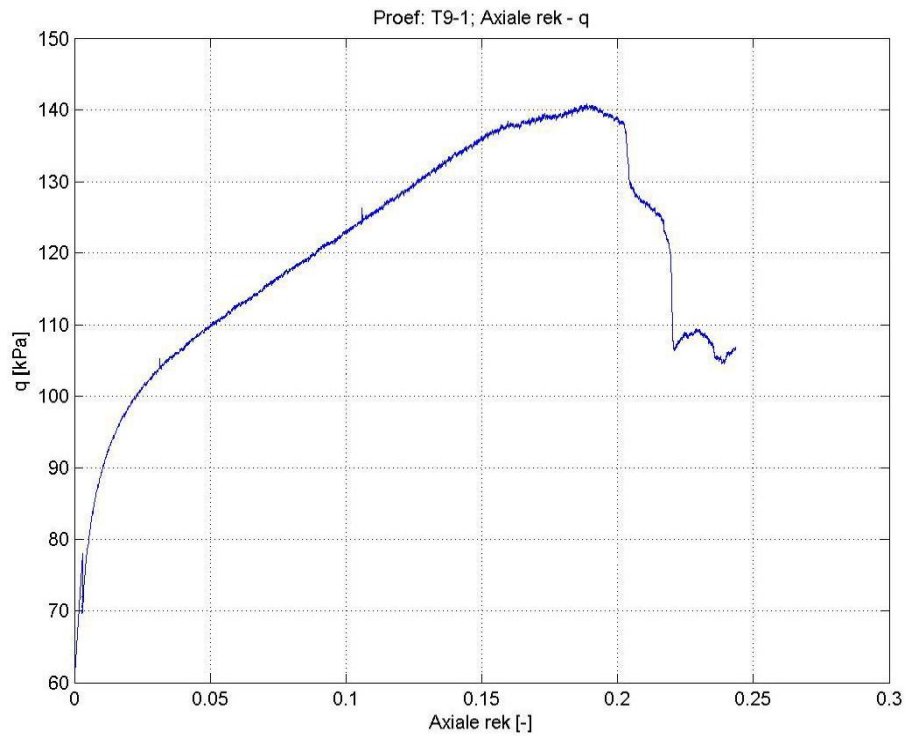
**Grafiek consolidatie: Volume tegen tijd**



## Grafiek afschuiven: $p' - q$

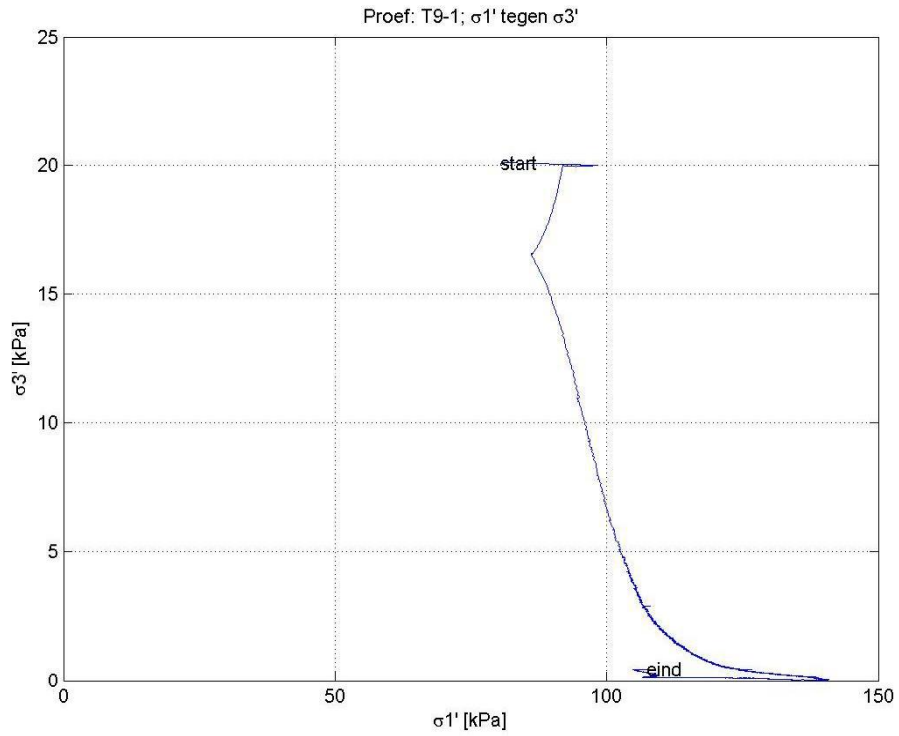


## Grafiek afschuiven: Axiale rek – $q$

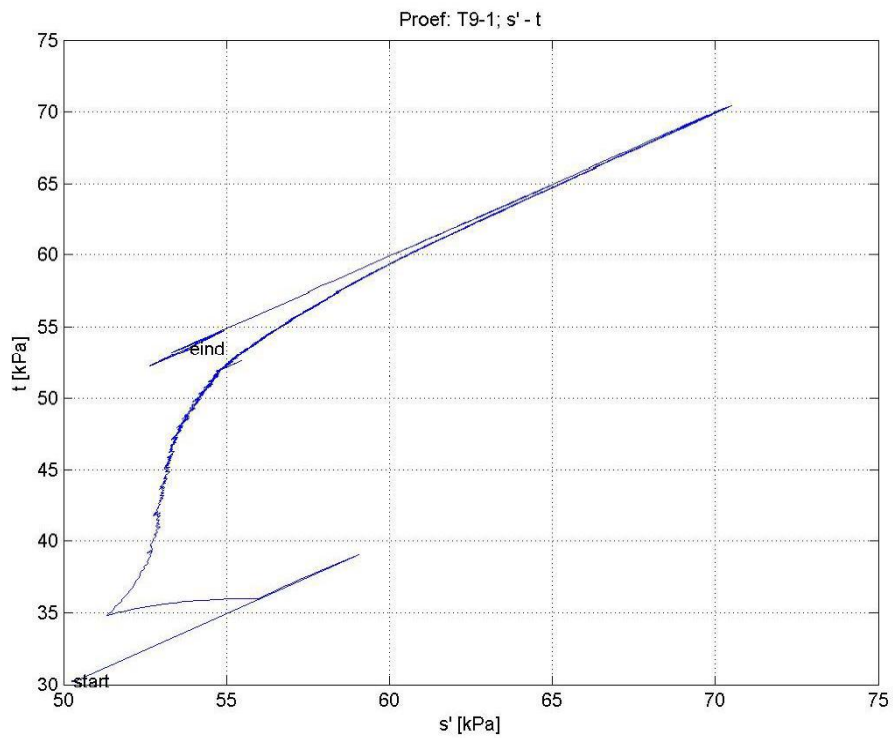




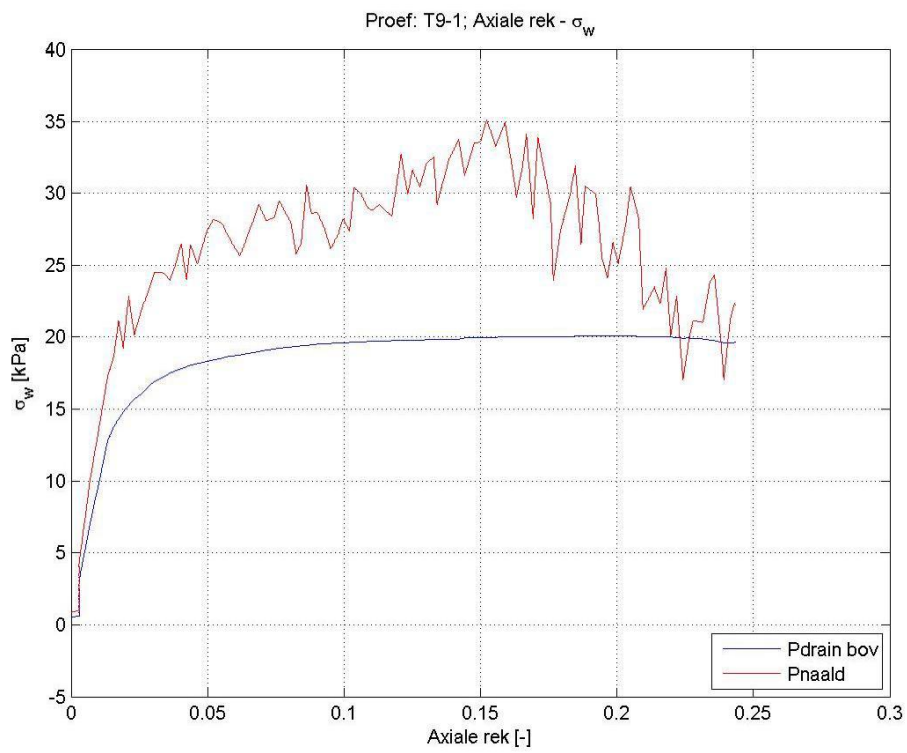
**Grafiek afschuiven:  $\sigma_1 - \sigma_3$**



**Grafiek afschuiven: s - t**



## Grafiek afschuiven: Axiale rek - $\sigma_w$



## **K Literatuurstudie materiaalmodellen**

**Inventarisatie rekenmodellen  
veen**





**Titel**  
Inventarisatie rekenmodellen veen




<b>Opdrachtgever</b> RWS Waterdienst	<b>Project</b> 1203768-019	<b>Kenmerk</b> 1203768-019-GEO-0001- gbh	<b>Pagina's</b> 39
---	-------------------------------	--	-----------------------

**Trefwoorden**  
veen, dijken, schuifsterkte, veiligheid, overstroming, vezels

**Samenvatting**

Een overzicht is opgesteld van rekenmodellen die mogelijk gebruikt kunnen worden om de sterkte en vervorming van dijken op en van veen, beter te berekenen dan met de huidige beschikbare methoden mogelijk is. Vier categorieën modellen zijn onderscheiden: specifiek voor veen opgestelde modellen, modellen van vezel-, weefsel- en folie-versterkte grond, modellen voor composiete materialen, en voor veen aangepaste grondmodellen. Bij elk beschreven model is het belang en de kansrijkheid voor de beoogde verbetering ingeschat. Al deze beoordelingen zijn ten slotte in één hoofdstuk samengebracht, waarbij een rangorde is aangebracht in kansrijkheid. Daarbij is de bruikbaarheid op korte termijn leidend geweest.

Als meest kansrijke model is beoordeeld het Soft Soil Creep model van Plaxis, met parameterbepaling in de K<sub>0</sub>CRS proef, al of niet met gebruikmaking van de anisotrope vloeiooppervlak optie. Het werk van Zornberg waarin de vezelversterking in glijvlakmethoden wordt verwerkt, en het theoretisch goed onderbouwde werk van Michalowski, zijn van groot belang, maar er is meer inspanning vereist om het toepasbaar te maken.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	22 juni 2012	dr.ir. E.J. den Haan		dr.ir. C. Zwanenburg		ir. L. Voogt	
2	24 sept 2012	dr.ir. E.J. den Haan		dr.ir. C. Zwanenburg		ir. L. Voogt	

**Status**  
definitief



## Inhoud

<b>1 Taakomschrijving</b>	<b>1</b>
<b>2 Aanpak</b>	<b>3</b>
<b>3 Specifiek voor veen opgestelde modellen</b>	<b>5</b>
3.1 Compressibility and shear characteristics of Radforth peats Landva & La Rochelle, 1983	<u>5</u> <u>5</u>
3.2 Undrained shear characteristics of normally consolidated peat under triaxial compression and extension conditions. Yamaguchi, Ohira en Kogure, 1985.	<u>5</u>
3.3 Veen, een grondmechanisch probleem, Den Haan, 1987	<u>6</u>
3.4 Enkele ideeën over modelvorming veen. Den Haan 1989	<u>6</u>
3.5 Anisotropic Peat Model, Sellmeijer (1989, 1990, 1994)	<u>7</u>
3.6 Investigation of requirements for plane strain element tests on peat.	<u>9</u>
3.7 Principle of axial shear test, Molenkamp, 1998	<u>10</u>
3.8 Numerical modelling of peat. Teunissen, 1995	<u>11</u>
3.9 Unravelling the anisotropy of peat. Zwanenburg, 2005	<u>12</u>
The influence of anisotropy on the consolidation behaviour of peat. Zwanenburg, 2005	<u>12</u>
3.10 The shear strength behavior of two peaty soils. Cola & Cortellazzo 2005	<u>12</u>
3.11 The geomechanical behaviour of peat foundations below rail-track structures. Effect of fibre content and structure on anisotropic elastic stiffness and shear strength peat. Hendry et al 2012	<u>14</u> of <u>14</u>
<b>4 Modellen van vezel-, weefsel- en folie-versterkte grond</b>	<b>19</b>
4.1 A constitutive model for soil reinforced by continuous threads.	<u>19</u>
4.2 Discrete framework for limit equilibrium analysis of fibre-reinforced soil.	<u>20</u>
4.3 Triaxial compression of sand reinforced with fibers. Michalowski & Čermák 2003	<u>22</u>
4.4 Limit analysis with anisotropic fibre-reinforced soil. Michalowski 2008	<u>24</u>
4.5 Multi scale mechanics, o.a. prof. Stefan Luding, TU Twente	<u>24</u>
<b>5 Modellen voor composiete materialen</b>	<b>27</b>
<b>6 Voor veen aangepaste grondmodellen</b>	<b>31</b>
6.1 Anisotrope versie van Soft Soil Creep	<u>31</u>
<b>7 Overzicht kansrijkheid geïnventariseerde rekenmodellen ten aanzien van toepassing op veen in dijken</b>	<b>33</b>
<b>8 Literatuur</b>	<b>37</b>





## 1 Taakomschrijving

De taakomschrijving van het project Inventarisatie Rekenmodellen Veen wordt in de desbetreffende offerte samengevat als volgt:

Onderzoek naar de beschikbaarheid en toepasbaarheid van verschillende rekenmodellen voor het simuleren van het gedrag van veen; vanaf hier inventarisatie rekenmodellen genoemd.

De toelichting in de offerte is als volgt:

In het kader van het project praktijkproef "Dijken op Veen" worden veldproeven uitgevoerd om de sterkte van veen in het veld vast te stellen. In dit onderzoek spelen veldproeven een belangrijke rol. Uit de analyse van de reeds uitgevoerde veldproeven bleek dat met de huidige gangbare rekenmodellen de uitkomsten van de proeven niet eenduidig kunnen worden gereconstrueerd. De analyses zijn uitgevoerd met het eindige elementen programma Plaxis. In dit computerprogramma zijn verschillende modellen beschikbaar waarmee het grondgedrag, met name de relatie tussen de opgelegde belasting en de optredende vervormingen kunnen worden berekend. Deze modellen worden constitutieve modellen genoemd. De keuze van het constitutieve model is bepalend voor het resultaat van de berekening.

In de analyse tot nu toe is er voor gekozen de berekeningen met het eindige elementen programma PLAXIS uit te voeren omdat dit voor de Nederlandse Ingenieurspraktijk het meest gebruikte eindige elementen programma is. Naast het computerprogramma Plaxis zijn er andere eindige elementen modellen beschikbaar die de mogelijkheid tot het toepassen van andere constitutieve modellen bieden. Daarnaast zijn constitutieve modellen ontwikkeld die (nog) niet beschikbaar zijn in regulier commercieel beschikbare computerprogrammatuur.

Naar aanleiding van de resultaten tot nu toe wordt voorgesteld de werkzaamheden uit te breiden met een **studie naar de beschikbare constitutieve modellen voor het modelleren van veengedrag**. De resultaten van de literatuurstudie geven richting aan het vervolg onderzoek. Aan de hand van de mogelijk beschikbare modellen kan in vervolg onderzoek berekeningen worden uitgevoerd om ervaring op te doen en na te gaan waar eventuele tekortkomingen zijn. Indien geen alternatieve modellen beschikbaar kan het vervolgonderzoek zich direct richten op het ontwikkelen van een dergelijk model.

De volgende werkzaamheden en activiteiten worden in de offerte voorzien:

De werkzaamheden ten behoeve van het onderdeel inventarisatie rekenmodellen worden in de volgende activiteiten onderverdeeld:

- Literatuurstudie naar constitutieve rekenmodellen.
- Inschatting van de kansrijkheid van de modellen.
- Korte memo met daarin per rekenmodel waarom ze wel of niet kansrijk zijn binnen het project, als bijlage bij de eindrapportage.

De offerte duidt het uit te voeren werk ten slotte als volgt:

Er wordt geen uitgebreide analyse gedaan met verificatie van de modellen. Het gaat om een korte inventarisatie en eerste inschatting van rekenmodellen die op het eerste gezicht kansrijk kunnen zijn voor het project praktijkproef "Dijken op Veen".

Dit rapport sluit aan bij de literatuurstudie "Dijken op Veen" (Deltares nr. 1203768-007, December 2011). Daar was de aandacht gericht op het vastleggen van de state of the art inzichten in het sterkte-gedrag van veen, om als input te dienen voor de analyse van de veldproeven die in het kader van het onderzoeksproject Dijken op Veen moesten worden uitgevoerd. Het huidige rapport spitst dit toe op de beschikbare rekenmodellen.

## 2 Aanpak

De aspecten van het grondmechanische gedrag van veen die het onderscheidt van klei en zand zijn vooral:

- De aanwezigheid van plantaardige vezels in een matrix van vergaan plantaardig materiaal en/of korrelig mineraal materiaal.
- De grote samendrukbaarheid en doorlatendheid, en de sterke afname daarvan met toenemende samendrukking.
- De lage schuifsterkte.
- De hoge hoek van inwendige wrijving en de hoge relatieve ongedraineerde schuifsterkte ("undrained strength ratio").
- De samendrukbaarheid van de vezels.
- De hoge mate van heterogeniteit.

Het inzicht in oorzaak en gevolg van deze aspecten is langzaam gegroeid. Belangrijk was de vaststelling dat er bij vervorming een mechanische wisselwerking ontstaat tussen de vezels en de matrix. Als een vezel uitgerekt worden en stijver is dan de omliggende matrix, wordt een schuifspanning ontwikkeld langs de vezel-matrix interface. In de vezel heerst dan een trekspanning, in de matrix een toename van de drukspanning in de richting van de vezel. Bij de triaxiale compressieproef op een monster met voornamelijk horizontaal georiënteerde vezels levert deze interactie een toename van de steunspanning op in de horizontale richting, met als gevolg hogere schuifsterkte.

Veen is dus een compositie materiaal, en rekenmodellen die specifiek op veen zijn gericht zullen de wisselwerking tussen vezels en matrix expliciet maken. Dit geldt voor zowel eindige elementenmodellen als simpele grensevenwichtmodellen (zoals bijvoorbeeld de Bishop glijvlakmethode). Aan beide is behoefte. EEM is in principe geschikt voor het berekenen van zowel deformaties als sterkte, maar is vaak niet in staat de extreme vervormingen en vervormingsgradiënten bij bezwijken goed te bepalen. Grensevenwichtmodellen zijn dan in het voordeel, in elk geval qua eenvoud en snelheid.

Specifiek voor veen geformuleerde constitutieve modellen hebben dus de aandacht. Ook de modellen die voor vezel-, weefsel- en folie-versterkte grond zijn ontwikkeld bevatten vanwege de overeenkomst met veen, mogelijk bruikbare aspecten. Compositie materialen komen echter in veel meer vormen voor, met zowel vezels en matrix van natuurlijk en kunstmatig materiaal, bijvoorbeeld vezelversterkte polymeren (al of niet multiplex-gelaagd), remvoeringen met in een matrix ingebedde slijtvaste korrels, in biologische systemen, etc. Voor veel van deze materialen zijn constitutieve modellen ontwikkeld die eveneens op bruikbaarheid kunnen worden onderzocht. Soms worden bestaande grondmodellen met relatief kleine ingrepen aangepast aan de eigenschappen van veen. Ook dat verdient aandacht. Er wordt daarom naar 4 categorieën modellen gekeken:

1. Specifiek voor veen opgestelde modellen.
2. Modellen van vezel-, weefsel- en folie-versterkte grond.
3. Modellen voor compositie materialen.
4. Voor veen aangepaste grondmodellen.

Deze categorieën worden behandeld in aparte hoofdstukken. Naast werk dat als een afgerond model is te beschouwen, wordt ook werk vermeld dat voor de ontwikkeling van het mo-

dellen van veen van belang is of is geweest, zonder dat er van een specifiek model sprake is. Waar relevant wordt na een beschreven bijdrage, model of belangrijk inzicht, een inschatting gegeven van belang en kansrijkheid. Het gaat daarbij om de mate waarin het werk nuttig is voor het project "Dijken op Veen".

### 3 Specifiek voor veen opgestelde modellen

#### 3.1 Compressibility and shear characteristics of Radforth peats Landva & La Rochelle, 1983

Landva en La Rochelle (1983) leggen helder uit hoe de vezels bij overwegend horizontale oriëntatie, een triaxiaalmonster wapenen en tot hoge schuifweerstand leiden. Het effect treedt niet op in ring shear, en door een combinatie te maken van (eigen) ring shear proeven en triaxiaal compressieproeven van diverse auteurs, wordt de bijdrage van de vezels aan de schuifsterkte gekwantificeerd. Een vezel-matrix interface wrijvingshoek wordt berekend. Proeven van Hanrahan (1954) leverden een relatie op tussen de normaalspanning en de toegevoegde steunspanning op die met  $\tan 16^\circ$  werd benaderd. In een soortgelijke analyse werd het effect van verweringsgraad ( $H_x$ , met  $x = 1$  tot 10, waarbij 1 duidt op vers veen en 10 op volledig verweerd veen) op de interface wrijvingshoek bepaald. Voor materiaal met een geringe verweringsgraad  $H_1$  werd  $10^\circ$  gevonden, bij  $H_5$   $3^\circ$ , en bij  $H_9$   $0^\circ$ .

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Het inzicht dat vezelsterkte afhangt van verweringsgraad, en met een wrijvingshoek kan worden beschreven, is van belang als component van rekenmodellen voor veen.

#### 3.2 Undrained shear characteristics of normally consolidated peat under triaxial compression and extension conditions. Yamaguchi, Ohira en Kogure, 1985.

Yamaguchi illustreert met triaxiaalproeven een aantal belangrijke effecten van de vezels op het gedrag van veen:

- Bij isotrope compressie op verticaal gestoken monsters (V-monsters, met overwegend horizontale vezels) is de samendrukking in de verticale richting groter dan in de horizontale richting, en bij horizontaal gestoken monsters (H-monsters, met overwegend verticale vezels) is de samendrukking in de horizontale richting groter. De grootste samendrukking is dus loodrecht op de vezels steeds relatief groter. Anisotropie ontstaat, ondanks de isotrope belasting.
- Naarmate het veen rijker is aan organische stof (meer vezels bevat) is de opbouw van wateroverspanning in ongedraineerde triaxiale compressie op V-monsters ( $\sigma'_1 \perp$  vezels) kleiner. Op H-monsters ( $\sigma'_1 //$  vezels) kon dit effect niet worden aangetoond.
- H-monsters bouwen in ongedraineerde compressie minder wateroverspanning op dan V-monsters bij gelijke organische stofgehalte
- H-monsters bouwen tijdens ongedraineerde extensie ( $\sigma'_1 = \sigma'_2 \perp$  vezels) meer wateroverspanning op dan tijdens ongedraineerde compressie.
- De wrijvingshoek neemt toe met het organische stofgehalte.

Yamaguchi heeft de ongedraineerde compressie en extensieproeven op V- en H-monsters gefit met een aangepaste (unmodified) Camclay model. Daarin is gebruikgemaakt van een dilatantiefunctie  $F(\eta)$  die de relatie legt tussen deviatorspanning en volumerek. Deze functie is bepaald aan de hand van de proeven, zodat de proeven prachtig gefit worden met het model. Den Haan (1987) plaatst vraagtekens bij een aantal aspecten van de afleiding en het kwalitatieve verloop van  $F(\eta)$ .

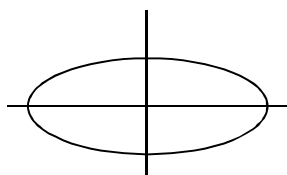
*Inschatting belang en kansrijkheid:* Bij het model zijn een aantal vraagtekens geplaatst. Het is onvoldoende geverifieerd en is slechts aan een aantal proefresultaten gefit. Het wordt daarom weinig kansrijk geacht. Wel kan nagegaan worden of de functie  $F(\eta)$  voorspelbaar gedrag vertoont voor Nederlandse veensoorten onder een scala aan belastingscondities.

### 3.3 Veen, een grondmechanisch probleem, Den Haan, 1987

In de literatuurstudie "Veen, een grondmechanisch probleem" gaf de toestand van 1987 weer ten aanzien van de kennis van het gedrag van veen, en de toen beschikbare modellen. Onder andere het hiervoor beschreven werk van Landva en La Rochelle, en Yamaguchi et al werd daarin besproken. Daarin werd ook de stand van zaken met betrekking tot vezelversterkte grond beschreven. Dat komt in het desbetreffende hoofdstuk in dit rapport nog aan de orde. Het rapport eindigt met het voorstel om in eindige elementen modellen een equivalente steunspanning in de richting van de vezels,  $\Delta\sigma_{\text{vezel}}$ , intern in een element te introduceren, en te streven naar een beschrijving van de heroriëntatie van de vezels bij draaiing van de hoofdspansingen, naar een richting loodrecht op de grootste hoofdspansing  $\sigma'_1$ . Deze ideeën zijn later uitgewerkt in Den Haan (1989). In de volgende paragraaf wordt deze notitie integraal weergegeven.

### 3.4 Enkele ideeën over modelvorming veen. Den Haan 1989

1. Breidt een bestaand elasto-plastisch model uit met constitutieve relaties voor de vezels in het veen. Veen is te beschouwen als bestaande uit een matrix (grondmassa) van elastoplastisch materiaal, waarin vezels voorkomen. Deze vezels hebben een verschillende herkomst, sterkte, stijfheid, lengte, mate van kronkeligheid, mate van vertering, doorsnede enz. Ook hebben de vezels een zekere oriëntatie, hetgeen voor te stellen is in een polair diagram waarin langs voerstralen evenwijdig aan de lengte-richting van de vezels is aangegeven de relatieve grootte van de dwarsdoorsnede van die vezels.



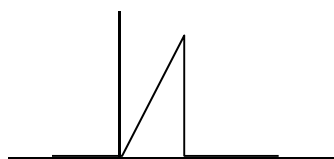
Naar verwachting zal een ellipsoïde ontstaan met de lange as in het horizontale vlak: veenvezels liggen dus bij voorkeur horizontaal.

Rek van vezels kan slechts door het oproepen van spanningen in de vezels. De ellipsoïde is nu te vertalen in een stijfheids-tensor die is op te tellen bij de stijfheidsmatrix van de elasto-plastische matrix.

2. Keuzen zijn mogelijk t.a.v. elastoplastische model en vezeleigenschappen. Bij veen lijkt het onontbeerlijk te voorzien in plastische volumedeformatie ook bij schuifspanningsniveaus lager dan ooit opgetreden. Daarom lijkt (Modified) Cam Clay te prefereren boven strain hardening Mohr Coulomb met of zonder dilatantie.

3. Het lijkt verstandig te beginnen met eenvoudige vezeleigenschappen:

- elastische vezels, die meerekken met de matrix;
- later uit te breiden met een breukrek.



Vezels en matrix interfereren echter via een wrijvingshoek en adhesie. Denkbaar is de regelstijfheidsmatrix hierop aan te passen. Niet alleen de rek van de vezel, maar ook de relatieve rek tussen vezel en matrix is dan van belang, zodat een extra term in de constitutieve vergelijking verschijnt.

Bij dit model is nog te kiezen voor starre vezels of vezels met een eindige axiale stijfheid, beide al of niet met een breukrek van de vezels.

Bij modellering van breukrek moeten de vezelstijfheidsmatrices progressief worden aangepast. De symmetrie van de ellipsoïde zal hierbij worden verstoord. Bij bepaalde spanningspaden c.q. rekpaden is t.g.v. dergelijke progressieve breukrek, spectaculaire strainsoftening te verwachten.

4. Laboratoriumwerk is nodig ter vaststelling van de vezeloriëntatie-ellipsoïde. Impregnatie met kunststof, snijden van enkele parallelle microtoom plaatjes, en toepassing van optische analyse is hierbij een mogelijkheid. Dit is te variëren naar soort veen en verweringsgraad. (Kleinere ellipsoïde bij hogere verweringsgraad).

5. Meet treksterkte van vezels. Bepaal verwachtingswaarde. Leg verband met verweringsgraad en soort vezel. Vergelijk met vers materiaal. Wellicht tegelijk stijfheid en breukrek van de vezels te bepalen. Drogen van het veen is hierbij uit den boze.

6. Bepaal wrijvingshoek van vezels-matrix via de techniek van Landva en La Rochelle, met een serie simple shear en triaxiaalproeven.

7. Test de eigenschappen van het elasto-plastische fiber model op het pre-failure traject van de proeven onder 5. Eventueel zijn uit deze vergelijking, in de trant van de door Molenkamp geschetste benadering via rekincrementrosetten, de benodigde parameters te onderscheiden c.q. bij te stellen.

8. Implementeer het model in EEM.

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Het werk aan modellering van het constitutieve gedrag van veen is door Grondmechanica Delft voortgezet met het werk van Sellmeijer, Molenkamp, Teunissen en Zwanenburg. Het gegeven dat de veeneigenschappen richtingsafhankelijk variëren en dat de richtingsafhankelijkheid kan evolueren bij rotatie van de hoofdspanningsrichtingen, is nog niet verder uitgewerkt. Bij de latere uitwerkingen is steeds aangenomen dat de vezels alleen of gemiddeld horizontaal zijn. Dat is echter niet aannemelijk. Ook is de trekbreuk van vezels nog niet gemodelleerd. De evolutie van de vezelrichting, door draaiing naar de richting van de kleinste hoofdspanning toe, is eveneens nog niet ondernomen.

### 3.5 Anisotropic Peat Model, Sellmeijer (1989, 1990, 1994)

Het model bestaat uit een koppeling van een elasto-plastisch vulmateriaal en elastische vezels. De rekken van beide zijn identiek totdat er slip of knik van de vezels optreedt. Het model wordt analytisch ver uitgewerkt, en daarna toegespitst op de samendrukkingsproef en de biaxiaalproef.



Onderstaande figuur geeft de invloed van de vezelrichting  $\alpha$  (ten opzichte van de horizontaal) op de richting van de grootste hoofdspansing  $\vartheta$  en het gemobiliseerde schuifspanningsniveau  $\mu$  ( $= q/p = (1-K_0)/(1+K_0)$ ). Bij horizontale vezels is de grootste hoofdspansing verticaal, en is  $\mu = 0.5$  ( $K_0=1/3$ ). Bij een geringe positieve helling van de vezels neemt  $\mu$  sterk af en dus  $K_0$  sterk toe. De auteur merkt dit op maar verklaart het niet nader. Het ligt echter voor de hand dat de oorzaak van de sterke daling van  $K_0$  ligt in het feit dat de vezels onder druk komen te staan als ze onder een flauwe helling liggen. Bij steile vezels domineren de vezels het gedrag. De grootste hoofdspansing valt dan samen met de vezelrichting.

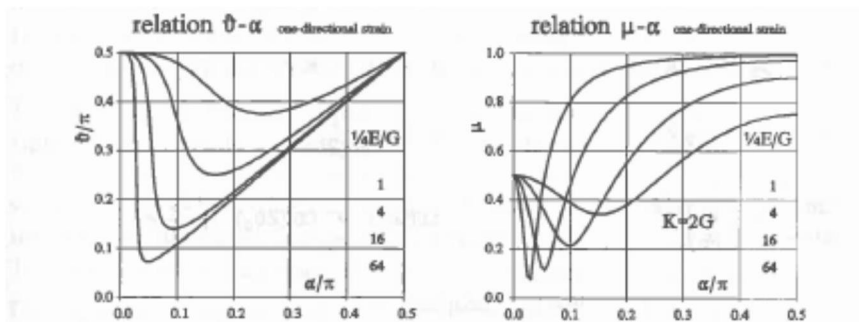
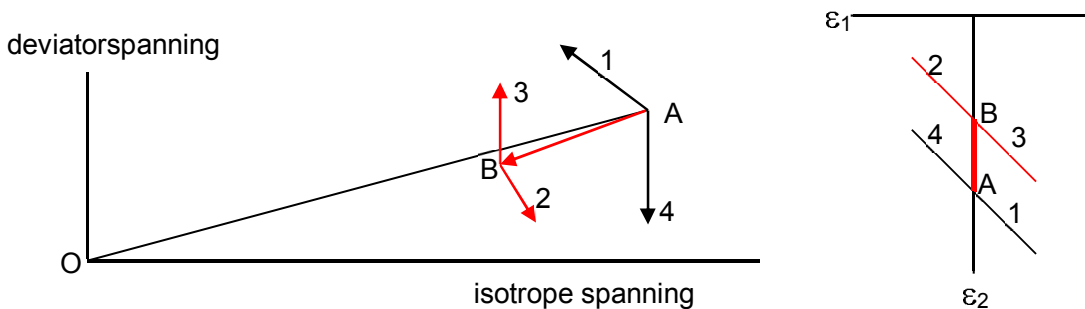


figure 2: principal stress direction and shear stress level as function of fibre orientation

Bi-axiaalproeven door Topolnicki en Termaat (1994) op een kunstmatige veen (mengsel van kaolien en papierzvezels) worden kwalitatief met het model vergeleken en gedeeltelijk ook nagekend. Het gaat hierbij vooral om de invloed op de spanningen van verandering van de richting van de opgelegde rekken, en de rol die de vezels hierin spelen.



De proefresultaten worden kwalitatief weergegeven in bovenstaande figuur. Het pad OA is 1-D samendrukking; pad AB is 1-D ontlasten. Pad OA ligt lager als de vezelhelling iets boven de horizontale richting ligt, zoals hiervoor toegelicht.

Na de samendrukking wordt het volume constant gehouden. Paden 1 t/m 4 ontstaan, afhankelijk van de richting van de opgelegde deviatorrek ten opzichte van de voorgaande richting daarvan. Bij paden 1 en 2 wordt de deviatorrek in dezelfde richting vergroot als in de voorgaande fase; bij paden 3 en 4 in tegengestelde richting. Paden 2 en 3 komen tot stand na de 1-D ontlastfase naar B.

Voor pad 1 wordt een helling berekend van  $45^\circ$ , voor pad 2 een iets steilere helling. Dit komt goed overeen met de metingen. Paden 3 en 4 zijn beide min of meer verticaal. De vezels leveren hier geen bijdrage, en de schuifweerstand van de matrix is gering. Bijgevolg levert de constante volume conditie ook een constante isotrope spanning op. Dat de vezels geen bij-

drage leveren komt door de omkering van de richting van de deviatorrek. Bij 3 zijn de vezels in de voorafgaande fase gaan slippen; bij 4 is langs OA knik opgetreden

Het artikel eindigt met de constatering dat een nieuwe generatie testapparatuur nodig is voor beproeving van veen. In rekgestuurde proeven moeten de normaal- en schuifspanningen op de randen worden gemeten; in spanningsgestuurde proeven de normaal- en schuifrekken op de randen. Dit is al een heenwijzing naar het Axial Shear Device. Het model wijst erop dat vezeloriëntaties tussen  $10^\circ$  en  $30^\circ$  het meest succesvol zullen zijn. Gedoeld wordt daarmee op het vermijden van de sterke verandering van het gedrag bij kleine toenames van de vezeloriëntatie bij hoeken lager dan  $10^\circ$ , zoals in Figuur 2 van het artikel is weergegeven.

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Het model is belangrijk, zowel kwantitatief als kwalitatief. Het combineert eenvoudige maar redelijke aannamen met betrekking tot vezelgedrag met eenvoudig maar redelijke grondgedrag. Overwogen kan worden het te implementeren.

### **3.6 Investigation of requirements for plane strain element tests on peat.**

#### **Molenkamp, 1994**

Molenkamp heeft veel werk verricht aan de modellering van veengedrag. Het begin van dit werk lag in 1987, kort na het verschijnen van "Veen, een Grondmechanisch Probleem". Molenkamp (1994) was de eerste formele publicatie. Evenals Sellmeijer werken de vezels in één richting, en wordt de rek van vezels en matrix in de vezelrichting gelijkgenomen. De matrix en vezels zijn elasto-viscoplastisch. De relaties tussen spanningen en rekken maar ook tussen de incrementele vezelspanning, incrementele matrixspanningen en de incrementele totaalspanningen worden uitgeschreven. Een methode wordt uitgelegd om de grondparameters die hierbij zijn aangenomen, te bepalen. Het gaat erom de lokale parameters vast te stellen die afhankelijk zijn van "current density" en "current stress state". Hiervoor zijn telkens vier verschillende proeven nodig: ontlasten en belasten langs een proportioneel (spanningsincrementen evenredig met heersende spanning) en een deviatorisch spanningspad. Door de proeven te herhalen voor meerdere dichtheden en spanningstoestanden kan de afhankelijkheid van de parameters daarvan inzichtelijk worden gemaakt. De vergelijkingen leiden tot de vaststelling dat de bepaling van de parameters uit de proeven optimaal nauwkeurig is als de hoek tussen de hoofdspanningen en de vezel richting,  $22.5^\circ$  of  $67.5^\circ$  bedraagt. Dergelijke proeven zijn niet feitelijk uitgevoerd, en de bedoelde parameters zijn niet afgeleid - het gaat om een theoretische verkenning van de wijze waarop dat zou kunnen. Het idee om een Axial Shear Device te bouwen is uit deze studie voortgekomen.

### 3.7 Principle of axial shear test, Molenkamp, 1998

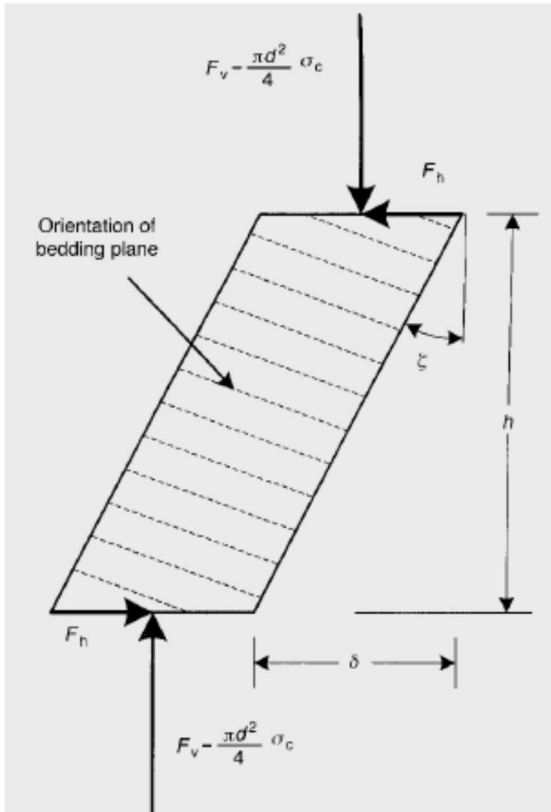


Fig. 3. Global equilibrium of a uniformly shearing sample of an anisotropic soil with an inclined bedding plane and lateral load control of the bottom platen

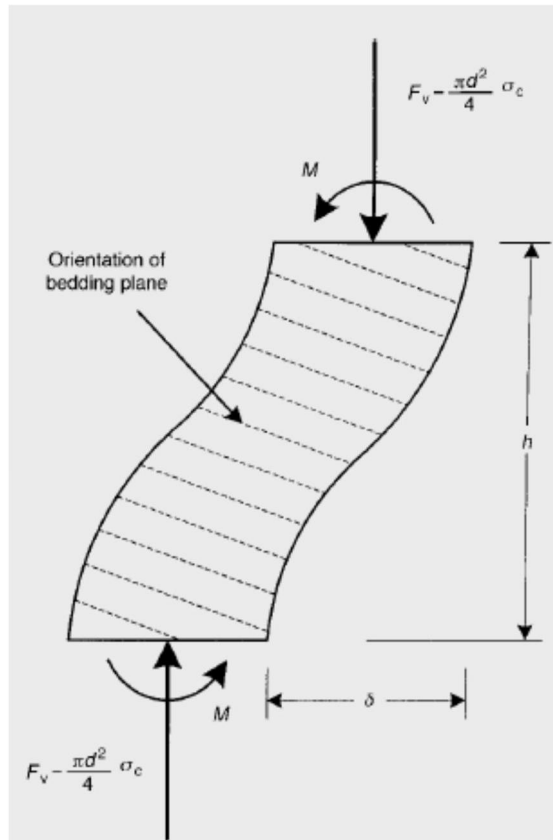


Fig. 2. Global equilibrium of a bending sample of an anisotropic soil with an inclined bedding plane

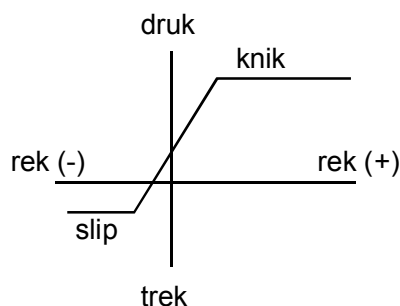
Uitgelegd wordt hoe de schuine oriëntatie van vezels leidt tot de ontwikkeling van schuifspanningen op horizontale (en dus ook verticale) vlakken (Fig. 3 van het artikel). Bij gesmeerde eindvlakken in een triaxiaalapparaat leidt dit tot verbuiging van het monster tussen de platen (Fig. 2 van het artikel). De richting van  $F_h$  (de horizontale kracht die op de bovenplaat wordt aangebracht) hangt af van de helling en relatieve sterkte van de vezels - het monster kan ook juist de andere kant uit verbuigen. Door de onderkant van het monster op rollen te zetten en  $F_h$  zo te sturen dat monster en normaalspanning co-axiaal blijven, wordt de verbuiging voorkomen. In aanvullende studies wordt uitgelegd hoe uit de gemeten ontwikkeling van  $F_h$  met hoek  $\zeta$ , de sterkte van de vezelwapening kan worden afgeleid.

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Molenkamp heeft, vaak samen met Heshmati, tot 2001 nog meer werk verzet met betrekking tot de numerieke modellering van veen. De betreffende publicaties zijn echter nog niet achterhaald. Aan de titels van deze publicaties te oordelen, zie de aparte lijst in de literatuurlijst, is er mogelijk een nuttig model beschikbaar. Navraag bij Frans Molenkamp leert dat de numerieke implementaties de overlay methode betreffen, van vezels in een vlak gecombineerd met een isotroop model voor de matrix als bijvoorbeeld MONOT.

Het Axial Shear Device kan van groot belang blijken te zijn. Een eerste versie van dit apparaat is gemaakt door F. Mathijssen. Het wachten is nu op proefresultaten en analyses.

### 3.8 Numerical modelling of peat. Teunissen, 1995

Een zgn. "overlay model" wordt gebruikt om horizontale veenvezels te combineren met gangbare constitutieve modellen voor de matrix. Evenals bij Sellmeijer en Molenkamp wordt de spanning opgedeeld in bijdragen van de vezels en de matrix, waarbij de vezels slechts in één richting, onder hoek  $\alpha$  met de horizontaal, actief zijn. In de vezelrichting is de rek in de vezel en de matrix gelijk.



Het vezelmodel bestaat uit een elastisch traject begrensd door knik en slip. Terugval naar nul is er niet. Opvallend is dat de kniksterkte in een aantal sommen zoveel groter wordt verondersteld dan de treksterkte. Voor de matrix wordt Mohr-Coulomb of modified Camclay verondersteld. Toepassingen in het artikel betreffen de bi-axiale compressieproef (gedraineerd en ongedraineerd), en een stripbelasting (gedraineerd en ongedraineerd). In alle gevallen wordt de invloed van de vezelhelling (van  $0^\circ$  tot  $90^\circ$ ) bepaald. Bij lage vezelhellingen wordt een grote toename van de sterkte gevonden, en het vezelwapeningseffect is hiervoor verantwoordelijk. Bij steile vezels komen de vezels onder drukspanning te staan en dit geeft enige sterkte-toename, maar de horizontale spanning blijft gering en dan wordt bezwijken van de matrix bepalend. Kortom - een grote toename van de sterkte bij lage en steile vezelhellingen, en weinig effect in het tussengebied. Bij de gedraineerde bi-axiaalproef is softening vastgesteld bij vezelhellingen steiler dan  $45^\circ$ , ondanks dat een elastisch-perfect plastisch model is gebruikt en de belasting co-axiaal is aangebracht. Dit zal een gevolg zijn van het knikken van de vezels. In een laatste exercitie is het strip probleem berekend met alleen horizontale vezels in combinatie met modified Camclay. Het blijkt dat de zakking van het midden van de strip *groter* is als er vezels worden gebruikt dan zonder vezels. Een verklaring blijft echter achterwege.

Bij de gedraineerde stripbelasting met Mohr-Coulomb wordt gevonden dat bij vezeloriëntaties anders dan  $0^\circ$ , door het ontbreken van symmetrie, de randcondities een belangrijke invloed hebben op de bezwijksterkte. De grond wordt naar de randen gedrukt.

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Deze aanpak is in feite de uitwerking van "Enige ideeën over modelvorming veen" waarin het overlay-principe is voorgesteld. Het gaat wel om een simpele uitwerking, en de verdere daar genoemde ideeën zouden nog eens onder de loep genomen kunnen worden. In vergelijking met de formele koppeling van de vezelbijdrage aan het matrixgedrag (Sellmeijer, Molenkamp) is de overlay methode op het eerste gezicht eenvoudig. Het werkt echter niet per se vlekkeloos onder willekeurige condities, en succes is daarom niet zondermeer gegarandeerd.

### 3.9 Unravelling the anisotropy of peat. Zwanenburg, 2005

#### The influence of anisotropy on the consolidation behaviour of peat. Zwanenburg, 2005

Onder andere de invloed van de anisotropie op het ongedraineerde gedrag in triaxiale deviatorische compressie wordt bekeken. Er wordt naar gezocht of de helling van het effectieve spanningspad een indicatie is van de mate van anisotropie.

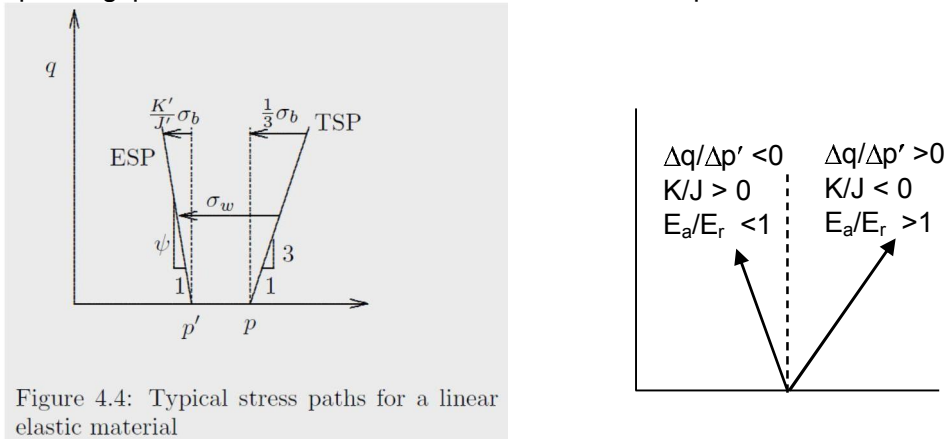


Figure 4.4: Typical stress paths for a linear elastic material

De elastische vergelijkingen voor orthotroop (cross anisotropic) materiaal worden uitgeschreven in termen van de bulk modulus  $K$ , schuifmodulus  $G$  en koppelmodulus  $J$ . Dan is de helling van het effectieve spanningspad in de  $q - p'$  ruimte,  $dp'/dq = -du_e/dq = -K/J$ . De Poissongetallen  $\nu_{hh}$  en  $\nu_{vh}$  worden verondersteld klein te zijn, en dan kan het teken van  $K/J$  ( $=0$ : esp recht omhoog;  $>0$ : esp helt achterover;  $<0$ : esp helt voorover) gerelateerd worden aan de verhouding  $E_a / E_r$ . Isotroop geconsolideerde triaxiale compressieproeven zijn uitgevoerd op normaalgeconsolideerd en overgeconsolideerd veen, op (om de aanduiding van Yamaguchi te gebruiken) V- en H-monsters. De relatie tussen  $K/J$  en  $E_a/E_r$  wordt bestudeerd, waarbij bijvoorbeeld belasten van een V-monster  $E_a$  oplevert en ontlasten van een H-monster,  $E_r$ .

Geconcludeerd wordt o.a. dat de anisotropie van veen pas ontstaat als de vezels belast worden en/of voorbelast zijn. Bij een grote normaalspanning, zoals bijvoorbeeld onder de kruin van dijken optreedt, worden de vezels voorbelast (radial pre-stressing).  $E_r$  neemt sterker toe dan  $E_a$  zodat de verhouding  $E_a/E_r$  afneemt af en  $K/J$  toe. Het effectieve spanningspad helt dan sterker naar links. Als oorzaak wordt gezien dat de horizontale vezels zijn uitgerekt en verstrengeld door de voorafgaande belasting.

Tevens is uit de resultaten vast te stellen dat H-monsters minder wateroverspanning genereren dan V-monsters (Yamaguchi vond dit ook).

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Dit werk bevat niet zozeer een veenmodel, als wel kwalitatieve en kwantitatieve data die door een veenmodel voorspeld moeten kunnen worden. Dat is ook de rechtvaardiging om het hier op te nemen.

### 3.10 The shear strength behavior of two peaty soils. Cola & Cortellazzo 2005

Cola en Cortellazzo (2005) onderzochten de invloed van vezelwapening op de respons in triaxiale compressie. Bij lage normaalspanningen treedt er slip op langs de vezels, en is de weerstand evenredig met de normaalspanning; bij grotere spanning breken de vezels en is de bijdrage gelijk aan de vezelbreuksterkte. Door proeven te doen op natuurlijk én verkneed materiaal is het mogelijk de vezelbijdrage te isoleren: in het verkneede materiaal is immers de vezelwapening (grotendeels) teniet gedaan.

Dit hebben zij gedaan voor twee Italiaanse veen: Adria veen met een watergehalte van ongeveer 330 - 421% en een grensspanning van circa 100 kPa, en Correzzola veen met een watergehalte van ongeveer 606 - 790% en een grensspanning van ongeveer 15 kPa.

De bi-lineaire relatie kon alleen voor Adria veen volledig worden vastgesteld. Er werd gevonden dat tot een normaalspanning bij bezwijken van  $\sigma'_{1,f} = 217$  kPa, de vezelspanning gegeven wordt door

$$\sigma'_{1,f} < 217 \text{ kPa} : \sigma_R = 0,24 \sigma'_{1f}$$

$$\sigma'_{1,f} > 217 \text{ kPa} : \sigma_R = 52 \text{ kPa}$$

De overgang lag bij het Correzzola veen hoger dan de hoogste aangebrachte belastingen. Er werd gevonden

$$\sigma_R = 0,27 \sigma'_{1f}$$

Bij een overgang van 217 kPa of hoger zal in het algemeen het eerste deel van de bi-lineaire relatie alleen-bepalend zijn.

De hogere waarde bij het Correzzola veen (0,27 tegenover 0,24 bij Adria veen) hangt samen met de andere soort vezels. Het Correzzola veen bevat lange en dunne blaadjes en stokjes, en is minder verweerd dan het Adria veen, dat korte, sterk verweerde vezels bevat. Het veen werd verkneeld door het met de hand te verkruimelen. Langere vezels krijgen dan een 'voorkeursbehandeling' omdat ze gemakkelijk te doorbreken zijn. Het Correzzola veen is door de lange vezels daarom gevoeliger voor verkneding dan het Adria veen.

De gradiënten van 0,24 en 0,27 kunnen in een vezel-matrix interface wrijvingshoek worden vertaald. Dit levert  $13,5^\circ$  en  $15,1^\circ$  op, waarden die goed overeenkomen met wat Landva (2007) noemt (eigenlijk: in herinnering brengt - Landva bedacht als eerste dat de vezels een wapenend effect hebben) van  $3^\circ$  voor matig verweerd veen tot  $16^\circ$  voor weinig verweerd veen.

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Dit bi-lineaire model van de vezel-matrix interactie kan bruikbaar zijn in berekeningen van de stabiliteit van ophogingen op veen, vooral om de bijdrage in de actieve zone in rekening te brengen. In de neutrale zone speelt de vezelwapening geen rol.

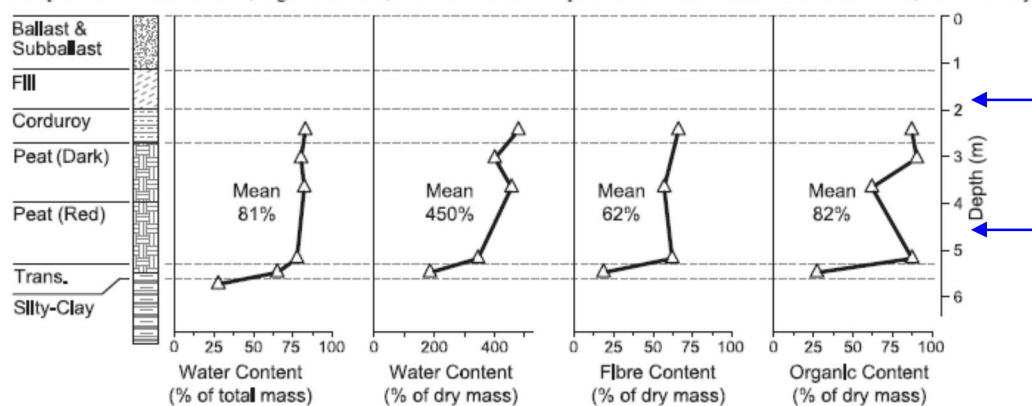
Het model sluit aan bij het werk van Landva. Het kan onderdeel uitmaken van een op te stellen vezel - matrix model, en dat is de rechtvaardiging voor het hier noemen van dit werk.

### 3.11 The geomechanical behaviour of peat foundations below rail-track structures. Hendry, 2011

#### Effect of fibre content and structure on anisotropic elastic stiffness and shear strength of peat. Hendry et al 2012

Hendry (2011) heeft een PhD thesis geschreven over de problemen die in Canada optreden door veen onder spoorwegen. Het effect van de vezels in het veen op het schuifsterktegedrag wordt onder andere geanalyseerd.

Fig. 4. Vertical profiles of water content, organic content, and fibre content of peat for the Edson subdivision site. Trans., transition layer.



*Profielen, veen onder spoorweg bij Edson, Alberta*

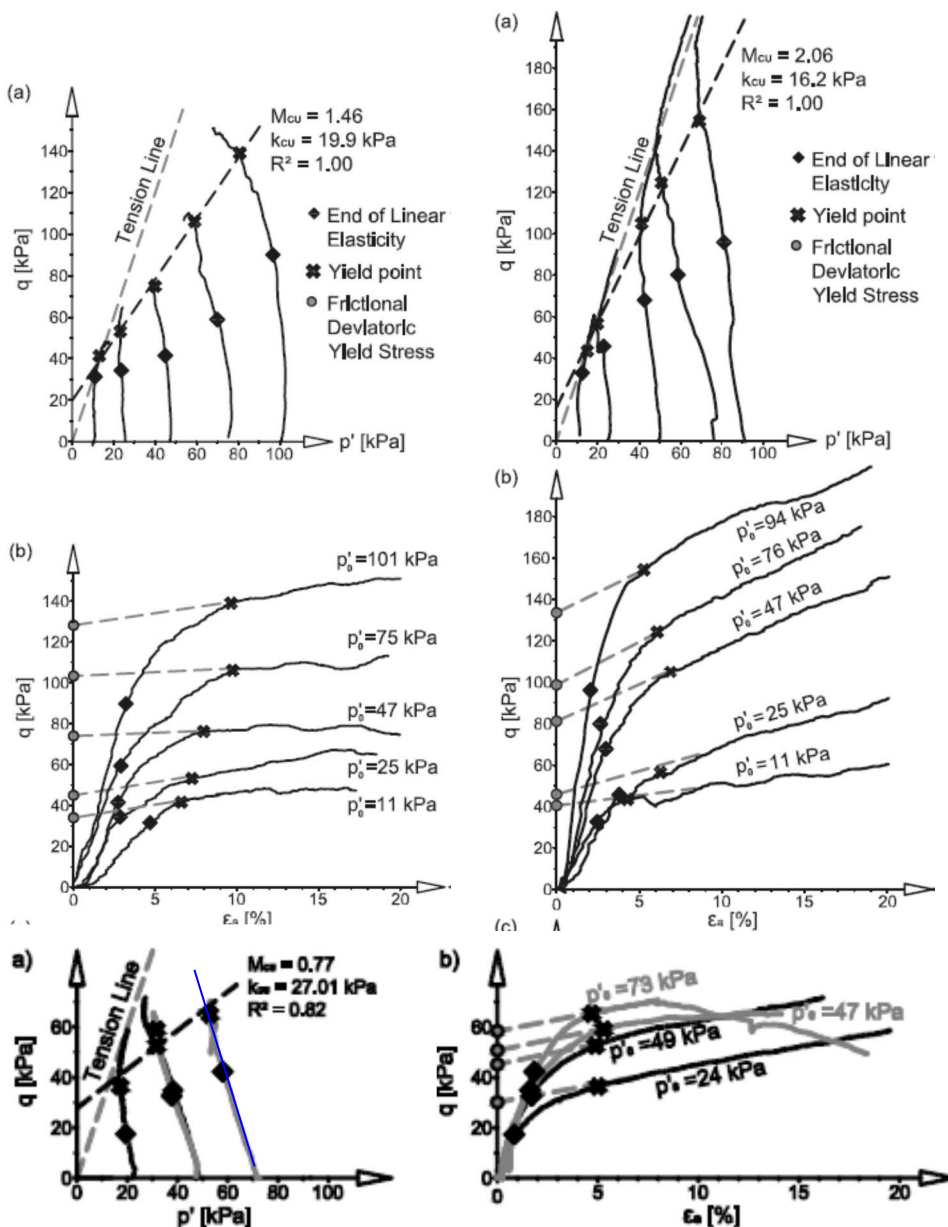
Het veen bevindt zich onder een corduroy laag (een oude vorm van aanleg over veen met verschillende dwarslagen van stammen en takken) waaroverheen "peaty organic fill" en de ballastlagen zijn aangebracht. Het veen is fijn-vezelig en weinig verweerd. De auteur heeft CU-triaxiaalproeven en directe schuifproeven uitgevoerd op:

- Verkneed veen.
- Verkneede vezels.
- Natuurlijk veen.

Er is een scala aan preparatietechnieken, voorbelastingsspanningen en consolidatiespanningen gebruikt.

- Remoulded peat: materiaal gewonnen uit 'auger cuttings'. Geconsolideerd in 38 mm buisjes bij een hoogte van 130 mm en een belasting van 90 kPa. Samendrukking orde 27%. Hierop zijn CU-triaxiaalproeven uitgevoerd bij  $\sigma'_{vc} = p'_0$  van 10 - 100 kPa.
- Remoulded peat fibres: vezels afgescheiden door natte zeping op de 150  $\mu\text{m}$  zeef. Het overgrote deel van de minerale bestanddelen wordt hiermee verwijderd. Behandeling en spanningen als voor Remoulded peat. Samendrukking tijdens consolidatie orde 43%.
- Remoulded peat and Remoulded peat fibres, Direct Shear tests: Geconsolideerd in 64 mm buizen bij een belasting van 50 kPa. Consolidatiespanning in Direct Shear apparaat 10 - 100 kPa.

- Shelby tube samples: Natuurlijk veen, gewonnen op diepten van 1.8 m en 4.6 m beneden bovenkant ophoging. Merk dus op dat het ondiepere materiaal gewonnen is in de "peaty organic fill" en niet in het natuurlijke veen. Feitelijk is dit dus "remoulded peat", maar de auteur merkt dit niet op.



Triaxiale compressieproeven op Remoulded peat (links) op Remoulded peat fibres (rechts), en Shelby tube samples (onder), Edson Alberta peat

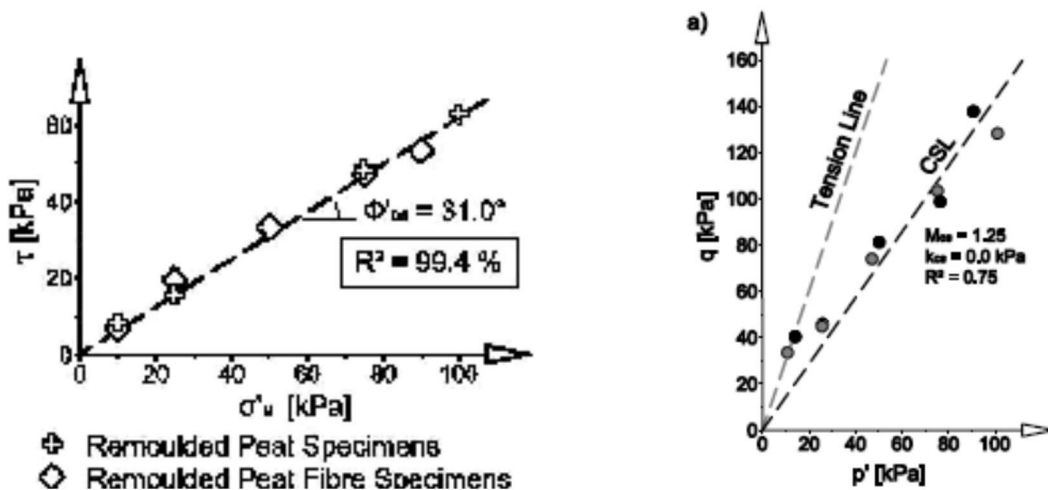
In bovenstaande figuur worden de triaxiaalproefresultaten gegeven voor het verkneede veen en de veenvezels. De knikpunten in het spannings-rek gedrag worden geïnterpreteerd als resp. het einde van het lineair-elastische gebied en het vloeipunt. De Mohr-Coulomb lijn door de vloeipunten wordt uitgedrukt in  $M_{cu}$  en  $k_{cu}$ . De spannings-rek kromme wordt op de aange-



geven wijze teruggeëxtrapolereerd naar nul rek om de sterkte zonder het vezelwapeningseffect te vinden.

Duidelijk mag zijn dat de pure vezels een hogere sterkte hebben, en dit wordt aan het gedrag van de vezels toegeschreven.

Op het remoulded peat en remoulded peat fibres zijn ook directe schuifproeven uitgevoerd. Uit onderstaande figuren blijkt dat.



Directe schuifproeven (links) en  $q_{cs} - p'_0$  uit triaxiaalproeven (rechts), op Remoulded Peat en Remoulded Peat Fibres, Edson Alberta peat

hierin  $\phi' = 31^\circ$  wordt gemeten, en dat komt overeen met de  $M$  - waarde die gevonden wordt uit de afsnijding (terugextrapolatie naar  $\epsilon_{ax} = 0$ ) van het hardening deel van de  $q - \epsilon_{ax}$  lijnen,  $q_{cs}$ . Deze  $q_{cs}$  wordt uitgezet tegen de consolidatiespanning  $p'_0$ .

De gedachte is dat in beide gevallen de weerstand van het 'interphase' materiaal, dus het matrixmateriaal, wordt gemeten, en dat de lineaire hardening een gevolg is van het strekken van de vezels. De hardening is lineair zolang er geen slip of vezelbreuk optreedt.

Met het natuurlijke materiaal zijn geen directe schuifproeven gedaan. De CSL lijn heeft een waarde van  $M = 1.01$  oftewel  $\phi' = 26^\circ$ , dus minder dan het verknapte materiaal

Na deze data te hebben afgeleid, wordt een simpel vezelmodel gepresenteerd waarin de vezelwerking neerkomt op een verhoging van de horizontale spanning in de matrix, zoals in de figuur hieronder geïllustreerd.

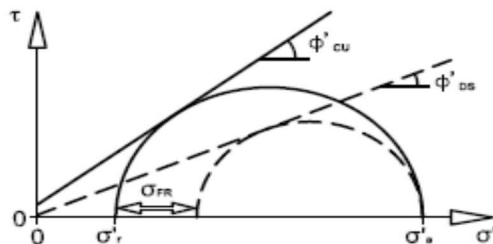


Figure 4.17: Conceptual representation of increase in effective confining stress as a consequence of tension mobilized by peat fibres.

#### Vezelmodel

Hierin is  $\varphi'_{cu}$  de sterkte bij het vloeipunt in de triaxiaalproeven, aan het begin van het lineaire hardeningtraject. Hierbij wordt ook een cohesie genomen,  $c'_{cu}$ .  $\varphi'_{ds}$  is de 'critical state' waarde van het matrixmateriaal zonder vezels. Afgeleid wordt dat

$$\sigma_{FR} = A \sigma'_a + B c'_{cu}$$

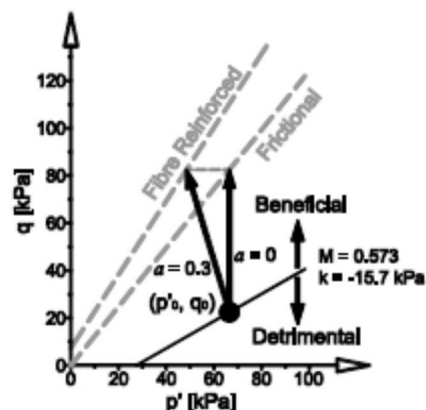
met  $A = K_{ds} - K_{cu}$  en  $B = 2 K_{cu} \cos \varphi'_{cu} / (1 - \sin \varphi'_{cu})$ . Hierin is  $K = (1 - \sin \varphi_x) / (1 + \sin \varphi_x)$

Voor het natuurlijke materiaal wordt een negatieve waarde van A gevonden. Dat betekent dat  $\varphi'_{ds}$  groter is dan  $\varphi'_{cu}$  en de auteur wijt dit aan takjes en afgeronde steentjes in het materiaal die de mobilisatie van de vezelweerstand hebben belemmerd en waarlangs zwakke schuifvlakken konden ontstaan.

De auteur laat ook de resultaten zien van vergelijkbare triaxiaalproeven op natuurlijk veen van onder een spoorweg in Quebec. Ook daar werd een negatieve A waarde voor afgeleid.

Voor  $c'_{cu}$  werden hoge waarden gevonden, van 13.4 tot 27.7 kPa. De negatieve A waarde overheerst echter tot een axiale spanning van 104 kPa in het Edson veen. Duidelijk mag zijn dat het vezelmodel niet bevredigend uitpakt in het natuurlijke materiaal.

De auteur kijkt ook diepgaand naar het effect van de anisotropie van het veen op de generatie van wateroverspanningen. Hij maakt hierbij gebruik van anisotrope elasticiteit en vindt dat het natuurlijke materiaal meer wateroverspanning opwekt ten gevolge van schuifspanningen dan het verkneede materiaal.

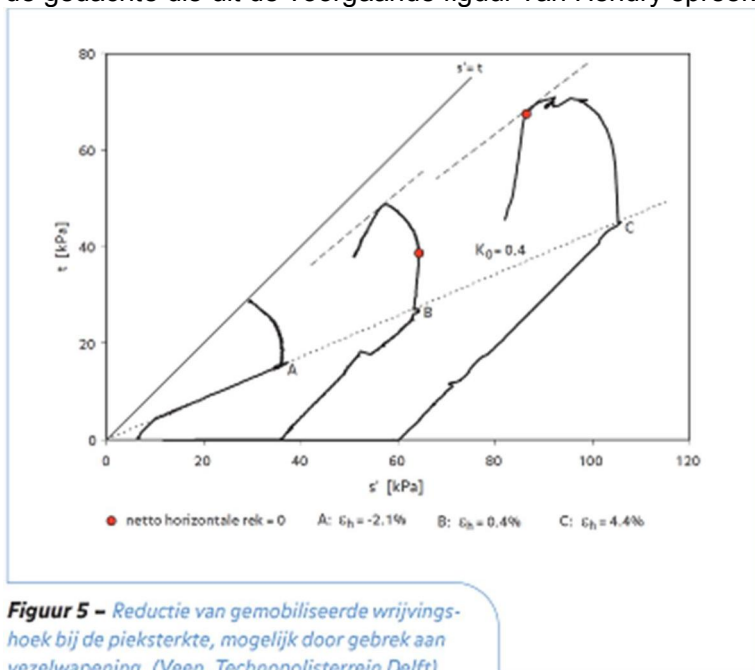


*Involed van initiële spanningstoestand op het vezel-effect*

De invloeden van de wateroverspanningsgeneratie en van de hogere schuifweerstand werken elkaar tegen. In bovenstaande figuur is dit uitgewerkt. De waarde  $\alpha = 0.3$  beschrijft de helling  $-\Delta q / \Delta p'$  van het effectieve spanningspad. Op de aangegeven wijze wordt een lijn gevonden die de scheiding vormt tussen een 'detrimental' gebied van initiële spanningen, en een 'beneficial' gebied.

Deze scheiding is vermoedelijk een gevolg van de horizontale compressie die ontstaat bij nagenoeg isotrope belasting. Het duurt dan langer voordat de vezels gaan strekken. Dat is al eerder door Den Haan (2011) opgemerkt ten aanzien van proeven op veen van het Technopolis terrein in Delft. Het betrof anisotroop geconsolideerde triaxiaalproeven, met consolidatie

bij  $K_0 = 0.4$ . Deze waarde is ruim hoger dan de echte normaalgeconsolideerde waarde, en bij de twee proeven die tot voorbij de grensspanning zijn geconsolideerd, ondervinden compressie in de horizontale richting. De vezels, die voornamelijk horizontaal georiënteerd zijn kunnen dus in de aansluitende schuiffase niet onmiddellijk een wapenend effect ontwikkelen. De rode cirkels in onderstaand figuur geven aan dat de horizontale rek weer nul is, en pas daar voorbij gaan de vezels weer bijdragen aan hogere sterkte. Dat is steeds later in de proef naarmate de consolidatiespanning hoger is. De bijbehorende sterkte is lager, en de omhullende heeft daardoor een te lage helling ( $\varphi'$ ) en te grote afsnijding ( $c'$ ). Dit komt overeen met de gedachte die uit de voorgaande figuur van Hendry spreekt.



**Figuur 5** – Reductie van gemobiliseerde wrijvingshoek bij de pieksterkte, mogelijk door gebrek aan vezelwapening. (Veen, Technopolisterrein Delft)

*Reductie van gemobiliseerde wrijvingshoek, mogelijk door gebrek aan vezel-wapening. Technopolis veen, Delft*

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Het werk van Hendry maakt een onvoltooide indruk, maar bevat elementen die meegenomen kunnen worden in het definiëren van een veenmodel. De proefresultaten met name zijn van belang. De wijze waarop uit gedrag zonder vezels wordt afgeleid uit de spannings-rek kromme van het materiaal met vezels moet op bruikbaarheid worden getoetst. Nagegaan kan worden of er een verband bestaat tussen al of niet opgetreden vezelrek en de 'beneficial' en 'detrimental' gebieden.

## 4 Modellen van vezel-, weefsel- en folie-versterkte grond

Het rapport "Veen, een grondmechanisch probleem" (1987) geeft een overzicht van een aantal modellen die zijn opgesteld voor de, toen nog in de kinderschoenen staande, techniek van het wapenen van grond met korte of lange vezels. De hoofdstukindeling is als volgt.

- 5.5 De schuifsterkte van vezelversterkt zand
- 5.6 Het wortel-model van Waldron
- 5.7 Modellen voor de schuifsterkte van vezelversterkt zand
  - 5.7.1 Het equivalente steunspanning concept
  - 5.7.2 Pseudo-cohesie concept
  - 5.7.3 Invloed van vezelscheefstand
  - 5.7.4 Het navoorspellen van een serie directe schuifproeven op vezelversterkt zand
  - 5.7.5 Gebreken van de fabric- en fiber modellen
  - 5.7.6 Random georiënteerde vezels
- 5.8 Mogelijke verbeteringen en toepassing op veen van de fabric- en fiber modellen  
Aanbevelingen voor voortgezet onderzoek.

Van belang is dat de beschreven modellen de toename van de schuifsterkte in een glijvlak door de vezel- of weefselversterking bepalen. Dat kan bruikbaar zijn voor de aanpassing van grensevenwichtsmethoden.

Nadien is de ontwikkeling van deze modellen doorgedaan. Een aantal publicaties wordt hieronder beschreven.

### 4.1 A constitutive model for soil reinforced by continuous threads. Di Prisco & Nova 1993

Het model is geschreven om Teksol te modelleren. Er wordt op gewezen dat beschikbare ontwerpmethoden op grensevenwicht zijn gebaseerd, en dat wijzen zij af omdat de extra schuifweerstand die door de vezels wordt geleverd, slechts door vervorming tot stand komt. Funderingen op vezelversterkt materiaal bijvoorbeeld, waar het gaat om het beheersen van de vervormingen, kunnen niet goed met grensevenwichtsmethoden worden ontworpen.

Het model gaat uit van twee afzonderlijke continua, die dezelfde rekken ondergaan. De vezels worden als een 3-D membraan opgevat, op gelijke wijze als de oppervlakte-spanningen in onverzadigde grond. Het membraan heeft geen schuifweerstand en geen weerstand tegen samendrukking. Het reageert alleen maar op trekrek. De vezels hebben geen voorkeursoriëntatie, (in tegenstelling tot de eerder beschreven modellen van Sellmeijer, Molenkamp e.a. Belangrijke inputparameters zijn het volumeaandeel van de vezels  $\rho = V^R/V$  waarin de R de vezels aanduidt, en de sterkte en stijfheid van de draad. In triaxiaalproeven werd bijvoorbeeld draad gebruikt met een sterkte van 700 MPa, een stijfheid van 110 GPa, een dichtheid van  $1.38 \text{ g/cm}^3$  en een gewichtspercentage ten opzichte van het droge zand van 0.145%.

Het model wordt formeel uitgeschreven, en dan toegespitst op de triaxiaalproef. Het zand wordt elasto-plastisch beschreven met non-associatieve Mohr-Coulomb. De parameters worden ontleend aan triaxiaalproeven op niet-versterkt zand en redelijke fits worden gevonden. De draad wordt eveneens elasto-plastisch beschreven, maar de fit aan het gemeten trek - rek gedrag van een vezel is nu minder goed. Het model voorspelt dat  $\varphi$  nauwelijks verandert, maar dat een cohesie ontstaat die wordt gegeven door

$$c_a = \frac{1}{2}(-\rho\sigma_y\sqrt{N_\varphi})$$

waarin  $\sigma_y$  de vloeispanning van de draad is.

Fits aan triaxiaalproeven waarin draad is verwerkt laten zien dat deze uitdrukking echter tot een bijna 10-voudige overschatting van de cohesie leidt. Dit wordt geweten aan het summiere contact tussen vezels en zand - het model veronderstelt een perfect contact. Dat zou alleen met een oneindig lange en dunne draad te bereiken zijn.

Na aanpassing van de draadparameters worden de proeven beter gefit. Dan nog wordt de volumeverandering slecht gefit. Met name dat bij hogere alzijdige spanning, de proeven meer contractie laten zien, terwijl het model spanningsonafhankelijk is in dit opzicht, en teveel dilatantie voorspelt. Ook de softening van de draad-versterkte monsters wordt niet gemodelleerd, zie onderstaande figuren.

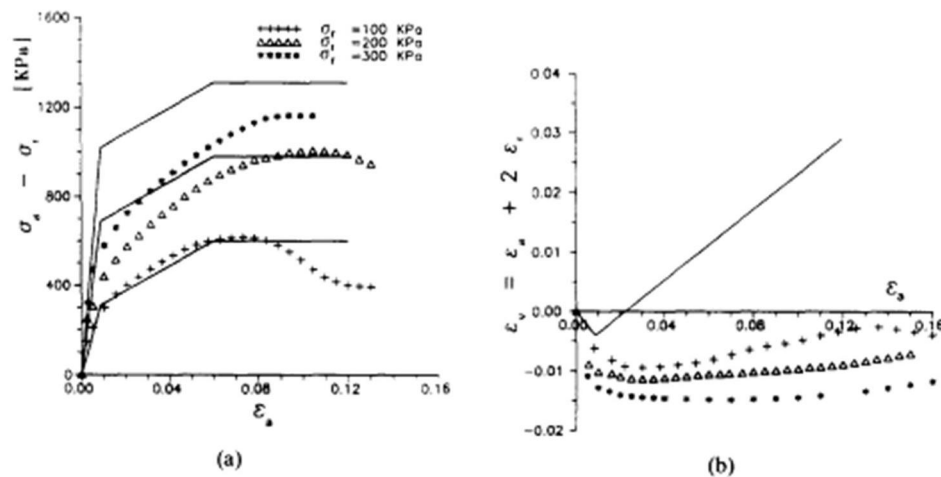


Fig. 7. Comparison between calculated and experimental data on reinforced samples: (a) deviatoric stress-strain law, and (b) volumetric strains.

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Het model moet niet zondermeer om de slechte fits worden afgeschreven. Het verdient aandacht vanwege de fundamentele aanpak. Het heeft overeenkomsten met de aanpak van Sellmeijer en Molenkamp, waar de vezelversterking formeel in de constitutieve vergelijkingen wordt opgenomen.

#### 4.2 Discrete framework for limit equilibrium analysis of fibre-reinforced soil. Zornberg 2002

De auteur beschrijft hoe de bijdrage van vezels aan de schuifsterkte kan worden afgeleid uit de sterkte van de vezels zelf. Dat is een voordeel omdat laboratorium-schuifsterkteproeven op het compositie materiaal achterwege kunnen blijven. Bovendien kan dan de vezelrichting beter worden verwerkt, anders dan in modellen waarin alleen een (richtings-onafhankelijke) pseudo-cohesie wordt aangenomen.

Het model gaat uit van óf pull-out óf breuk van de vezels. Pull-out is afhankelijk van de interface wrijvingseigenschappen waarvoor een  $c$  en een  $\varphi$  worden aangenomen. De matrix wordt ook met een  $c$  en  $\varphi$  beschreven en tussen de beide  $c$ 's en beide  $\varphi$ 's wordt een *interaction coefficient* wordt aangenomen. De pull-out langs een glijvlak betreft vezellengtes tussen 0 en  $L/2$ , en gemiddeld wordt  $L/4$  genomen ( $L$  = gemiddelde totale vezellengte). Met een (reductie)factor  $\alpha$  kan rekening worden gehouden met oriëntatie van de vezels ten opzichte van het glijvlak, maar als de vezels isotroop verdeeld zijn is deze factor 1. Verder is de volumetric fibre content van belang. Vezelbreuk vindt plaats bij grotere normaalspanning en leidt tot een

bilnear  $\sigma - \tau$  verband. De critical normal stress op de overgang tussen pull-out en breuk is eenvoudig uit de vezeleigenschappen te berekenen. Dit is de eerste dergelijke uitdrukking in de literatuur. Het bepaalt o.a. dat de critical normal stress niet afhankelijk is van het vezelgehalte.

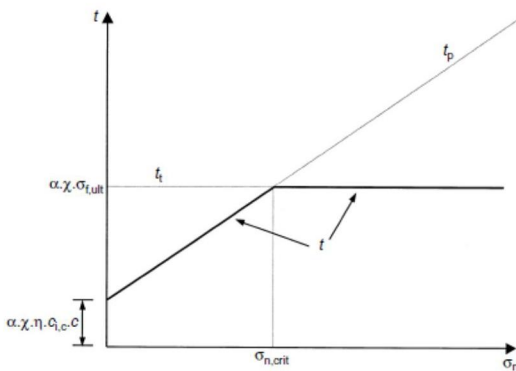


Fig. 2. Representation of fibre-induced distributed tension according to the discrete approach

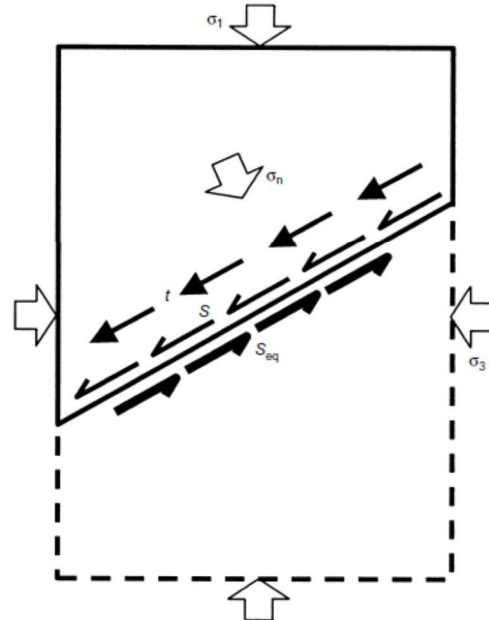


Fig. 3. Schematic representation of the equivalent shear strength in a triaxial fibre-reinforced specimen

Een belangrijke aanname is dat de vezels zich in het glijvlak plooiën en dat de vezeltrekspanning simpelweg bij de schuifweerstand in het glijvlak mag worden opgeteld.

Triaxiaalproeven worden uitgevoerd en gefit met het model. De overeenkomst is verbluffend goed, zie onderstaande figuur.

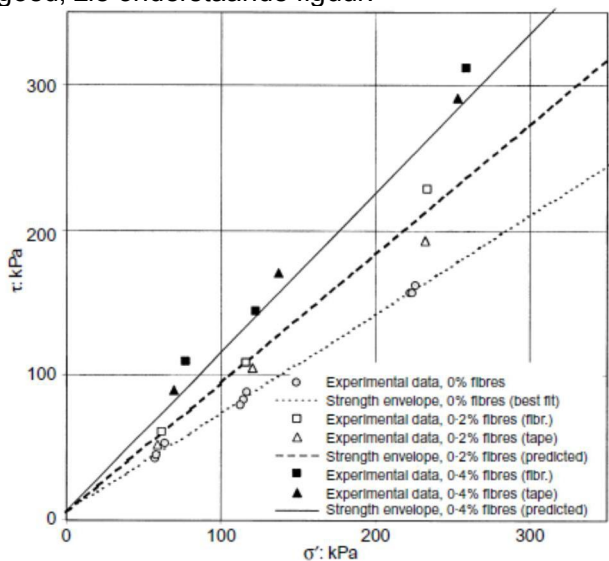


Fig. 9. Comparison between predicted and experimental shear strength results for specimens of Soil 2 with 25 mm fibres placed at  $\chi_w = 0.0\%$ ,  $0.2\%$ ,  $0.4\%$

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Het model is uiterst belangrijk en biedt kansen om toegepast te worden voor grensevenwichtsberekeningen van dijken op/in veen. Het behelst een uiterst simpele aanpassing van bestaande grensevenwichtsmodellen, op basis van de vezeleigenschappen. De beschrijving van het gedrag van de vezels in termen van vezelgehalte, oriëntatie, slankheid, interface wrijving en sterkte is zowel intuïtief juist als in overeenstemming met de resultaten van eerder werk.

Hoewel veen een gecompliceerder materiaal is dan wat de auteur in gedachten heeft, is het denkbaar om de vezeleigenschappen door ijking aan triaxiaalproeven en simple shearproeven, en ondersteund door trekproeven, te bepalen. Uiteraard ontstaat dan op den duur een database aan vezeleigenschappen die afhankelijk is van veensoort, organische stofgehalte, verweringsgraad, mate van voorbelasting (vezeloriëntatie) etc.

Onduidelijk is wel waarom bij vezelbreuk er wel een vezelweerstand overblijft. Kennelijk gaat het niet om breuk maar om vloeien. Maar in de actieve zone van een glijvlak in veen, als de vezels breken door grote vervorming loodrecht of langs het glijvlak, is de vezelweerstand tot nul gereduceerd. Wellicht kan dit in een aangepast model wel worden verwerkt.

#### 4.3 Triaxial compression of sand reinforced with fibers. Michalowski & Čermák 2003

De invloed van vezeloriëntatie op de sterkte wordt onderzocht, experimenteel met triaxiaalproeven en analytisch via de incrementele energiebalans tijdens bezwijken. De vezels zullen altijd een anisotrope verdeling hebben, of een aanvankelijk isotrope verdeling zal gaandeweg anisotroop worden. De verdeling van de vezelrichtingen is van belang. Vaak wordt bijvoorbeeld gevonden dat er geen vezels zijn met verticale oriëntatie, en dan ontstaan verdelingen als in figuur 7 van het artikel. De energiebalans gaat uit van evenwicht tussen de incrementele energie verricht door de randspanningen van een element, en de dissipatie daarvan in het element. Voor dat laatste wordt verondersteld dat dat gebeurt op de interfaces tussen vezels en grond. Voor een enkele vezel is in eerder werk een relatie afgeleid, en dat wordt nu over  $360^\circ$  geïntegreerd en geminimaliseerd. Hierbij wordt gebruikgemaakt van zgn. the Hill principle of macrohomogeneity. Daaruit volgt de sterkte. De matrix wordt beschreven met Mohr-Coulomb inclusief "normality rule". Vloeioppervlakken als in figuur 11 van het artikel worden verkregen. Het binnenste oppervlak betreft de matrix, de vergroting ervan is de vezelbijdrage.

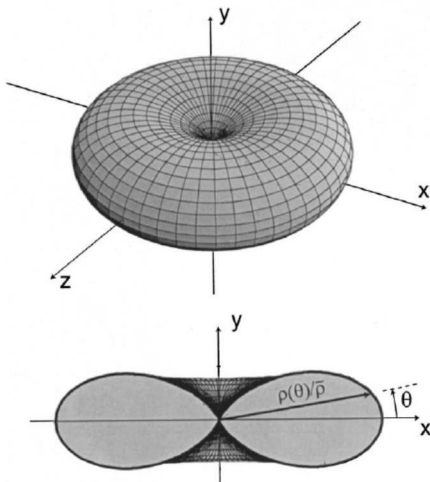


Fig. 7. Axisymmetric cosine fiber orientation distribution.

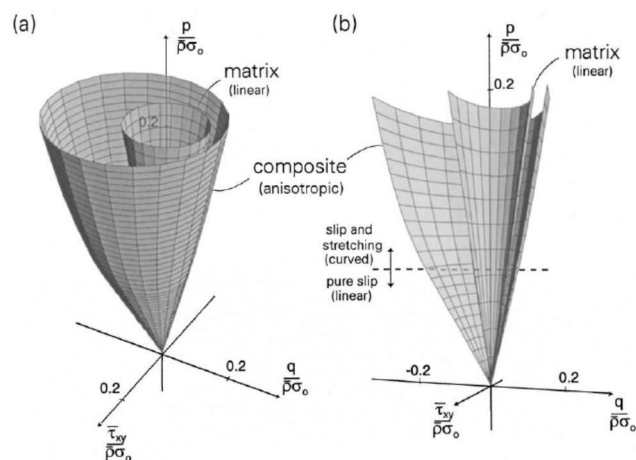


Fig. 11. Anisotropic failure condition for fiber-reinforced sand: (a) failure surface, and (b) cross-section of the failure surface.

Het oppervlak is lineair in het gebied waarin de vezels uiteindelijk alleen maar slippen, en bij grotere normaalspanning gekromd. Daar treedt slip én vloeien van de vezels op.

In triaxiaalproeven werd hardening geconstateerd, en dat wordt in het artikel verklaard. Zie figuur 14 van het artikel, waar de vezelverdeling aanvankelijk isotroop (random) was, zoals in figuur 12a. Door rotatie van de vezels, figuur 13, ontstaat echter een ellipsoidale verdeling als in figuur 12b. Verwerking van de vezelrotatie en de invloed ervan op de energiedissipatie, levert het met puntjes aangegeven verloop in figuur 14, dat goed aansluit bij het gemeten hardening gedrag (de slechte aansluiting bij lagere rek wordt ook verklaard). Met andere woorden: "The evolution of fiber orientation in the deformation process was found to have been the cause of the anisotropic hardening". Er wordt nog op gewezen dat het artikel geen poging is een compleet model op te stellen, maar alleen het verklaren van het in de triaxiaalproeven gemeten gedrag.

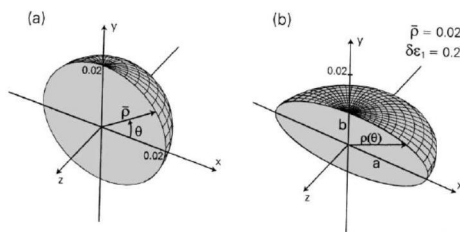


Fig. 12. Variation of fiber orientation distribution; (a) original distribution, (b) distribution after 20% of major principal strain.

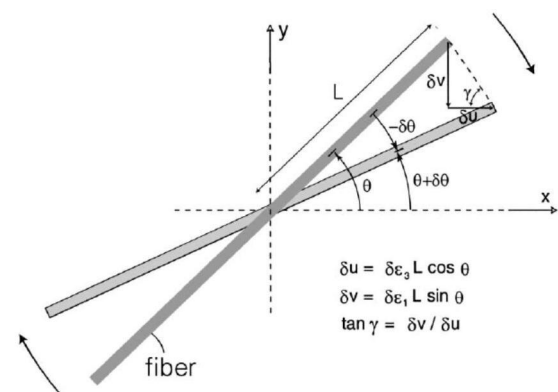


Fig. 13. Variation of orientation of a single fiber during a composite deformation process.

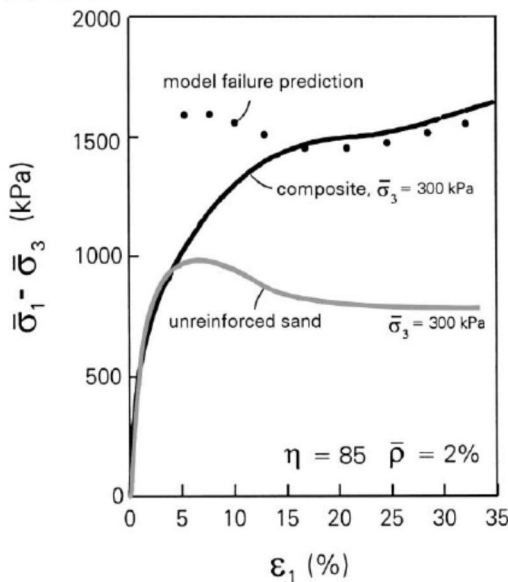


Fig. 14. Predicted deviatoric stress increase.

*Inschatting belang en kansrijkheid:* De beschreven aanpak is behoorlijk streng in fysisch en wiskundig opzicht, en verdient navolging. De evolutie van de vezeloriëntatie en de invloed ervan op de schuifsterkte is in veendijken belangrijk. Aanpassing van het model naar veen (aanpassing vezel- en matrice-eigenschappen) is zeker te overwegen. Op deze wijze ontstaat een constitutief model dat zonder overlay-aannames, in eindige elementenmethoden is te gebruiken.



#### 4.4 Limit analysis with anisotropic fibre-reinforced soil. Michalowski 2008

Dit artikel gebruikt hetzelfde model als in het direct hiervoor beschreven artikel. Er wordt bovendien ingegaan op de wrijvingshoek - deze is anisotroop en neemt toe naarmate de ellipsoïde platter is, omdat er dan relatief meer vezels onder trek komen te staan. Daarna wordt het model toegespitst op de berekening van kinematische grenstoestanden. Hierbij wordt wel weer de associatieve vloeiafname gebruikt, en bovendien wordt uitgegaan van starre vervorming in de blokken ter weerszijden van de glijvoeg. Het model wordt toegepast op een keermuur en op het stripbelastingsprobleem, in beide gevallen uiteraard met vezelversterkte grond.

*Inschatting belang en kansrijkheid:* De aannamen van associativiteit en geen inwendige energie-dissipatie ter weerszijden van het glijvlak, maken het model minder geschikt voor veen. De fundamenten van deze aanpak vervallen echter als voor niet-associativiteit wordt gekozen. Dat is een breder probleem, dat de toepassing van de kinematische methode in samenhangende grond in het algemeen raakt. De beschreven aanpak kan niettemin op bruikbaarheid worden onderzocht. Het voordeel ervan is dat veel aspecten van de vezelbijdrage op een verantwoorde wijze gemodelleerd worden. Verder kan meespelen de eenvoud en snelheid van dergelijke analytische oplossingen ten opzichte van eindige elementen berekeningen van bezwijken.

#### 4.5 Multi scale mechanics, o.a. prof. Stefan Luding, TU Twente

Multiscale mechanics, toegepast op 'particulate materials', begint bij de individuele korrels of deeltjes, en gaat via het korrel-contact naar systemen van veel korrels, om ten slotte uit te komen bij een continuum-beschrijving. Een voorbeeld is de 'Discrete Element Modelling' van korrels in een bi-axiaal proef. Hiermee zijn oplossingen te vinden voor de afhankelijkheid van bijvoorbeeld de continuum-stijfheid, continuum spannings- rekrelaties, en golfpropagatiesnelheid van korreleigenschappen als korrelstijfheid en korrelvorm, en van systeem-eigenschappen als dichtheid. Ook kunnen de effecten van wrijving en van rotatie van deeltjes in de schuifzone kunnen worden onderzocht.

De groep van prof. S. Luding (TU Twente, <http://www2.msm.ctw.utwente.nl/sluding/>) is gespecialiseerd in multi scale mechanics, en momenteel wordt daar gewerkt aan modellering van veen. Details zijn nog niet beschikbaar.

Van belang voor een multi-scale benadering kan zijn het artikel van Kabla en Mahadevan (2007) waarin bij de mechanica van een enkele vezel wordt begonnen en opschaling plaatsvindt naar het systeem-gedrag. Het gaat daarbij om synthetisch vilt. Het strekken van een enkele vezel wordt afgeleid uit de buigsterkte - de axiale stijfheid wordt oneindig groot verondersteld. Het opschalen gaat via een "unit cell with a minimal network connectivity (figure 4d) inspired by similar models in polymer physics (Flory 1959)."

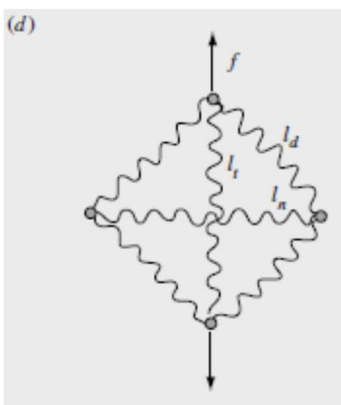


figure 4(d) Minimal network of fibres and its deformation due to an applied force.

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Discrete element modelling is de "koninklijke weg" (website Onze Taal: staat voor weliswaar de beste, de juiste, de officiële weg, maar niet voor de meest realistische weg). Inzicht in de bijdrage van de vezels aan sterkte en stijfheid is feitelijk alleen langs deze weg te bereiken. Van belang is het onderbouwen van het werk met metingen, die om zeer minutieus onderzoek zullen vragen (sterkte, stijfheid, lengte, doorsnede, kronkeligheid, oriëntatie van vezels en de verdelingen daarvan). De huidige experimentele infrastructuur is hier niet op ingericht, en het inzicht in het effect van de structuur van veen op het grondmechanische gedrag is gering. De inhomogeniteit en natuurlijke variabiliteit van veen verergeren dit probleem. Als dan ten slotte het micro-mechanische gedrag goed begrepen is, moet nog de opschaling naar constitutieve modellen voor gebruik in eindige-elementenprogramma's worden gemaakt.

Het belang van deze gekoppelde numerieke - experimentele aanpak is zondermeer als groot te omschrijven. Kansrijk is het echter alleen als er veel in wordt geïnvesteerd. De spin-off is alleen op langere termijn te verwachten.

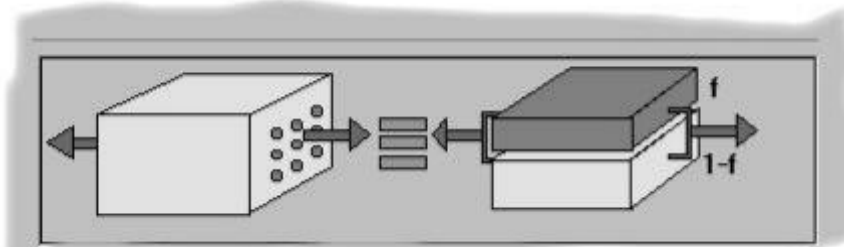


## 5 Modellen voor composiete materialen

Gemaakte composiete materialen komen op grote schaal voor in tal van industriële sectoren. Vaak gaat het om vezel en weefsel versterkte polymeren die in de basisvorm bestaan uit een ply, vaak met uniaxiale versterking. Door multiplexen worden laminaten gevormd, in de simpelste toepassing met onderling orthotrope richtingen van de versterking. De theorie ter zake wordt op begrijpelijke wijze uitgelegd in bijvoorbeeld

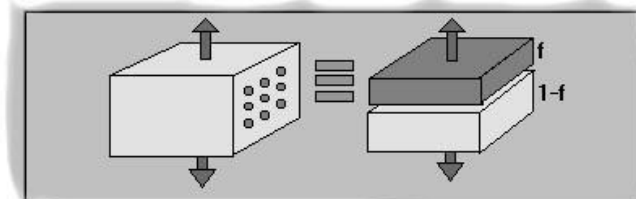
<http://www.matter.org.uk/matscidrom/manual/co.html>

Daarin wordt de load transfer tussen matrix en vezels behandeld, in axiale richting en loodrecht daarop. In axiale richting wordt gelijke rek verondersteld.



en omdat de vezels relatief stijf zijn, neemt de stijfheid van de composiet toe ten opzichte van dat van de matrix. De mate van toename hangt af van de vezelfractie  $f$ .

De sterkte en stijfheid van de composiet in loodrechte richting (binnen de ply, niet uit het vlak) is veel lager want de matrix wordt niet 'afgeschermd' van vervorming zoals dat wel in de vezelrichting gebeurt. Nu wordt in het simpelste geval gelijke spanning verondersteld in matrix en vezels.



Dit is echter te ongunstig omdat er ook delen van het materiaal zijn waar vezels en matrix parallel voorkomen, en dit wordt ondervangen in de veelgebruikte empirische benadering van Halpin - Tsai.

De overdracht van axiale spanning naar een vezel wordt op vezel-schaal bekeken, en bijvoorbeeld wordt geconstateerd dat korte vezels niet kunnen breken. Een uitdrukking voor de 'critical aspect ratio' (slankheid) wordt gegeven. Voor de stijfheid van laminaten met verschillende richtingen van de axiale versterking komen richtingstransformatiematrices om de hoek kijken, net als bij de modellen van bijvoorbeeld Sellmeijer, Molenkamp en Teunissen waar de vezelrichting wordt gevarieerd.

Bij de sterkte van laminaten moet gekeken worden naar breken in de vezelrichting, loodrecht erop en door schuifvervorming langs de vezels. Bezijken treedt op bijvoorbeeld door het bereiken van een simpele "maximum stress criterium" voor de normaalspanningen en schuifspanning. Iets complexer is het Tsai - Hill criterium dat een mengvorm is van de verschillende

spanningen. Ook de fracture strength wordt bekeken, waarvoor de fracture energy bekend moet zijn.

Er zijn de nodige commerciële FE pakketten die veel modules beschikbaar hebben voor dergelijke materialen. Vooral Nastran en Abaqus zijn hier sterk in, en op de website van Abaqus zijn artikelen te vinden van speciale toepassingen en user-defined uitbreidingen te vinden. Op de MSC Nastran website is onder

[http://www.mscsoftware.com/training\\_videos/patran/Reverb\\_help/index.html#page/Functional%2520Assignments/materials\\_forms.5.1.html#ww871412](http://www.mscsoftware.com/training_videos/patran/Reverb_help/index.html#page/Functional%2520Assignments/materials_forms.5.1.html#ww871412)

het volgende overzicht te zien van beschikbare modules voor composiete materialen, en toelichting op de theorie.

[1.4 Composite Materials Construction](#)  
[Laminated Composite](#)  
[Rule-of-Mixtures Composite](#)  
[Halpin-Tsai Continuous Fiber Composite](#)  
[Halpin-Tsai Discontinuous Fiber Composite](#)  
[Halpin-Tsai Continuous Ribbon Composite](#)  
[Halpin-Tsai Discontinuous Ribbon Composite](#)  
[Halpin-Tsai Particulate Composite](#)  
[Short Fiber Composite \(1D\)](#)  
[Short Fiber Composite \(2D\)](#)  
[Composite Material Properties](#)

[1.5 Theory - Composite Materials](#)  
[Laminated Composite Materials](#)  
[Rule-of-Mixtures Composite Materials](#)  
[Halpin-Tsai Composite Materials](#)  
[Short Fiber Composite Materials](#)

Het gaat hierbij om het gedrag van piles, dus stapels platen met in elke plaat vezels onder verschillende oriëntaties.

Vezel-versterkt beton (fiber-reinforced concrete, FRC) wordt op grote schaal toegepast. De modellering ervan vindt veelal plaats vanaf de micro-mechanica, maar de literatuur ter zake is zeer divers. In DIANA bijvoorbeeld is niet zomaar een FRC module te vinden. De voornaamste toepassing betreft grote betonvloeren, bijvoorbeeld in industriële hallen, waar het dient om de scheurvorming te beperken. In dragende toepassingen wordt het nog steeds in aanvulling op betonstaalwapening gebruikt, en de invloed van de vezels kan dan afdoende met uit prismadrukproeven afgeleide macromechanische parameters worden beschreven. Dat is niet wat voor de toepassing in veen wordt gezocht.

*Inschatting belang en kansrijkheid:* De overeenkomst tussen vezelversterkte kunststof piles en het dijken-op-veen probleem is gering, en de toepassing van vezels in beton lijkt voornamelijk bedoeld om scheurgrootte te beperken. Een toepassing op dijken op veen lijkt vergezocht. Verder onderzoek naar de bruikbaarheid van deze modellen is niet zinloos, maar wordt niet kansrijk geacht.





## 6 Voor veen aangepaste grondmodellen

### 6.1 Anisotrope versie van Soft Soil Creep

Den Haan & Feddema (2012) laat zien dat het Plaxis Soft Soil Creep model in staat was de vervormingen van ophogingen ten behoeve van de BetuweRoute spoorlijn en de vervormingen en het bezwijken van de eerste IJkdijk macro-stabiliteit experiment te fitten. Toepassing op de Uitdam experimenten moet nog plaatsvinden. In het kort komt deze aanpak erop neer dat de parameters ontleend worden aan de  $K_0$ -CRS proef, en dat de veelal zeer hoge waarden van de CamClay M-parameter (eigenlijk de inwendige wrijvingshoek) die hieruit volgen voor veen, overgenomen worden in de berekening.

Door Leoni, Karstunen & Vermeer (2008) is een anisotrope versie van het soft soil creep model beschreven:

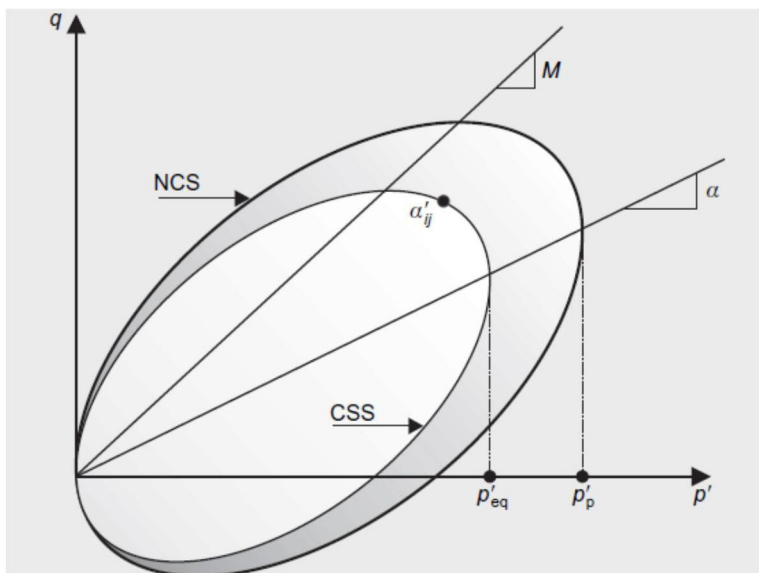
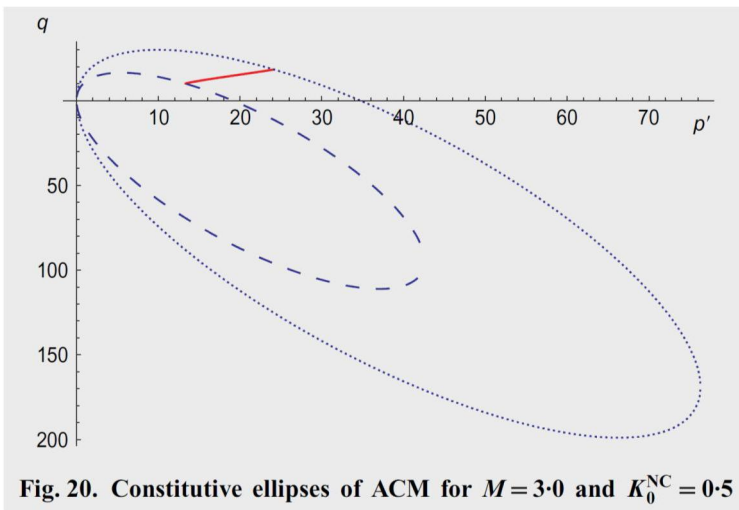


Fig. 5. Anisotropic creep model: current state surface (CSS) and normal consolidation surface (NCS) in triaxial stress space

De as van het vloeiooppervlak is nu niet meer altijd langs de isotrope spannings-as, maar heeft een oriëntatie afhankelijk van de relatieve grootte van de voorgaande plastische schuifrek en plastische volumerek. Met andere woorden, niet alleen de ligging maar ook de grootte van het vloeiooppervlak evolueert.

In een discussie van het artikel, Leoni, Karstunen & Vermeer (2010), laat Den Haan zien dat het Soft Soil Creep model ook zonder de anisotrope uitbreiding, in staat is om het gedrag van veen onder ophogingen goed te modelleren. De auteurs repliceren echter met de constatering dat bij veen, omdat  $M$  hoog is en  $K_{0,nc}$  erg laag, de initiële ligging van het vloeiooppervlak anders is dan bij klei: de oriëntatie is langs een as met negatieve deviatorspanning.





*Inschatting belang en kansrijkheid:* De negatieve initiële oriëntatie van het vloeiooppervlak van veen in de anisotrope versie van het soft soil creep model is nog niet verder uitgewerkt. De al goede ervaring met het isotrope soft soil creep model ten aanzien van veen, kan mogelijk versterkt worden door dit alsnog te doen. Dat is zeker aan te bevelen.

## 7 Overzicht kansrijkheid geïnventariseerde rekenmodellen ten aanzien van toepassing op veen in dijken

In de voorgaande hoofdstukken is na elk behandeld model c.q. inzicht-verhogend artikel, al een inschatting gegeven van het belang en de kansrijkheid van het model / inzicht, voor toepassing op de vervorming en sterkte van dijken op en van veen. Hieronder zijn deze inschattingen gebundeld, en wordt bovendien met een aantal vinkjes een rangorde aangebracht in de beschreven modellen. Waar een lang ontwikkeltraject wordt verwacht of de geschatte benodigde inspanning om het model geschikt te maken voor praktische toepassing, groot is, wordt dat én vermeld, én meegewogen.

Topscoorer met drie vinkjes is het soft soil creepmodel en de nieuwe anisotrope versie ervan. Deze is beschikbaar en kan onmiddellijk op bruikbaarheid worden onderzocht. Het (prachtige) werk van Michalowski (anisotropie-beschouwingen) heeft tweeëneenhalf vinkjes gekregen. Drie vinkjes is hier ook wel op zijn plaats, omdat verwacht worden dat het zeer bruikbaar zal blijken te zijn. Het zal echter niet op korte termijn toepasbaar zijn in de analyse van dijken op/van veen. Ook de grensevenwichtmethode van Zornberg verdient eigenlijk drie vinkjes, maar de benodigde inzet om het voor veen toepasbaar te maken is niet gering. Het is daarom met twee vinkjes beoordeeld.

Twee vinkjes zijn ook gegeven aan de overlay benaderingen van Teunissen en Molenkamp, en de micro-macro aanpak van bijv. de groep van Luding. De micromechanica aanpak van Luding c.s. bevindt zich in de zeer vroege fase, en praktische toepassing van de resultaten zal nog lang duren, zonder dat er zicht is op de mate waarin van verbetering van de modellering van veen sprake zal zijn. De twee vinkjes zijn een afweging van het fundamentele van de aanpak, de verwachte grote inspanning op numeriek en vooral experimenteel gebied, en het risico dat de verkregen inzichten toch niet tot een verbetering van de modellering van veen in (bijvoorbeeld) eindige elementenmodellen leidt.

De gegeven waardering is subjectief maar het kan dienen als startpunt van discussie over "Hoe verder met de modellering van veen in dijken?"

### Specifiek op veen gerichte modellen

*Landva en La Rochelle 1983*

- ✓ *Inschatting belang en kansrijkheid:* Het inzicht dat vezelsterkte afhangt van verweeringsgraad, en met een wrijvingshoek kan worden beschreven, is van belang als component van rekenmodellen voor veen.

*Yamaguchi 1985*

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Bij het model zijn een aantal vraagtekens geplaatst. Het is onvoldoende geverifieerd en is slechts aan een aantal proefresultaten gefit. Het wordt daarom weinig kansrijk geacht. Wel kan nagegaan worden of de functie  $F(\eta)$  voorspelbaar gedrag vertoont voor Nederlandse veensoorten onder een scala aan belastingscondities.

*Enkele ideeën over modelvorming veen, Den Haan 1989*

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Het werk aan modellering van het constitutieve gedrag van veen is door Grondmechanica Delft voortgezet met het werk van Sellmeijer, Molenkamp, Teunissen en Zwanenburg. Het gegeven dat de veeneigen-

schappen richtingsafhankelijk variëren en dat de richtingsafhankelijkheid kan evolueren bij rotatie van de hoofdspansingsrichtingen, is nog niet verder uitgewerkt. Bij de latere uitwerkingen is steeds aangenomen dat de vezels alleen of gemiddeld horizontaal zijn. Dat is echter niet aannemelijk. Ook is de trekbreuk van vezels nog niet gemodelleerd. De evolutie van de vezelrichting, door draaiing naar de kleinste hoofdspansing, is eveneens nog niet ondernomen.

*Anisotropic Peat Model, Sellmeijer (1989, 1990, 1994)*

- ✓ *Inschatting belang en kansrijkheid:* Het model is belangrijk, zowel kwantitatief als kwalitatief. Overwogen kan worden het te implementeren.

*Investigation of requirements for plane strain element tests on peat. Molenkamp, 1994*

- ✓✓ *Inschatting belang en kansrijkheid:* Molenkamp heeft, vaak samen met Heshmati, tot 2001 nog meer werk verzet met betrekking tot de numerieke modellering van veen. De betreffende publicaties zijn echter nog niet achterhaald. Aan de titels van deze publicaties te oordelen, zie de aparte lijst in de referenties, is er mogelijk een nuttig model beschikbaar. Navraag bij Frans Molenkamp leert dat de numerieke implementaties de overlay methode betreffen, van vezels in een vlak gecombineerd met een isotroop model voor de matrix als bijvoorbeeld MONOT.
- ✓ Het Axial Shear Device kan van groot belang blijken te zijn. Een eerste versie van dit apparaat is gemaakt door F. Mathijssen. Het wachten is nu op proefresultaten en analyses.

*Numerical modelling of peat. Teunissen, 1995*

- ✓✓ *Inschatting belang en kansrijkheid:* Deze aanpak is in feite de uitwerking van "Enige ideeën over modelvorming veen" waarin het overlay-principe is voorgesteld. Het gaat wel om een simpele uitwerking, en de verdere daar genoemde ideeën zouden nog eens onder de loep genomen kunnen worden. In vergelijking met de formele koppeling van de vezelbijdrage aan het matrixgedrag (Sellmeijer, Molenkamp) is de overlay methode op het eerste gezicht eenvoudig. Het werkt echter niet per se vlekkeloos onder willekeurige condities, en succes is daarom niet zondermeer gegarandeerd.

*Unravelling the anisotropy of peat. Zwanenburg, 2005*

*The influence of anisotropy on the consolidation behaviour of peat. Zwanenburg, 2005*

- ✓ *Inschatting belang en kansrijkheid:* Dit werk bevat niet zozeer een veenmodel, als wel kwalitatieve en kwantitatieve data die door een veenmodel voorspeld moeten kunnen worden. Dat is ook de rechtvaardiging om het hier op te nemen.

*The shear strength behavior of two peaty soils. Cola & Cortellazzo 2005*

*Inschatting belang en kansrijkheid:* Dit bi-lineaire model van de vezel-matrix interactie kan bruikbaar zijn in berekeningen van de stabiliteit van ophogingen op veen, vooral om de bijdrage in de actieve zone in rekening te brengen. In de neutrale zone speelt de vezelwapening geen rol.

- ✓ Het model sluit aan bij het werk van Landva. Het kan onderdeel uitmaken van een op te stellen vezel - matrix model, en dat is de rechtvaardiging voor het hier noemen van dit werk.

*The geomechanical behaviour of peat foundations below rail-track structures. Hendry, 2011*

*Effect of fibre content and structure on anisotropic elastic stiffness and shear strength of peat. Hendry et al 2012*

✓ *Inschatting belang en kansrijkheid:* Het werk van Hendry maakt een onvoltooide indruk, maar bevat elementen die meegenomen kunnen worden in het definiëren van een veenmodel.

### **Modellen van vezel-, weefsel- en folie-versterkte grond**

*A constitutive model for soil reinforced by continuous threads. Di Prisco & Nova 1993*

✓ *Inschatting belang en kansrijkheid:* Het model moet niet zondermeer om de slechte fits worden afgeschreven. Het verdient aandacht vanwege de fundamentele aanpak. Het heeft overeenkomsten met de aanpak van Sellmeijer en Molenkamp, waar de vezelversterking formeel in de constitutieve vergelijkingen wordt opgenomen.

*Discrete framework for limit equilibrium analysis of fibre-reinforced soil. Zornberg 2002*

✓✓ *Inschatting belang en kansrijkheid:* Het model is uiterst belangrijk en biedt kansen om toegepast te worden voor grensevenwichtsberekeningen van dijken op/in veen. Het behelst een uiterst simpele aanpassing van bestaande grensevenwichtsmodellen, op basis van de vezeleigenschappen. De beschrijving van het gedrag van de vezels in termen van vezelgehalte, oriëntatie, slankheid, interface wrijving en sterkte is zowel intuïtief juist als in overeenstemming met de resultaten van eerder werk.

Hoewel veen een gecompliceerder materiaal is dan wat de auteur in gedachten heeft, is het denkbaar om de vezeleigenschappen door afwijking aan triaxiaalproeven en simple shearproeven, en ondersteund door trekproeven, te bepalen. Uiteraard ontstaat dan op den duur een database aan vezeleigenschappen die afhankelijk is van veensoort, organische stofgehalte, verweringsgraad, mate van voorbelasting (vezel-oriëntatie) etc.

Onduidelijk is wel waarom bij vezelbreuk er wel een vezelweerstand overblijft. Kennelijk gaat het niet om breuk maar om vloeien. Maar in de actieve zone van een glijvlak in veen, als de vezels breken door grote vervorming loodrecht of langs het glijvlak, is de vezelweerstand tot nul gereduceerd. Wellicht kan dit in een aangepast model wel worden verwerkt.

*Triaxial compression of sand reinforced with fibers. Michalowski & Čermák 2003*

✓✓(✓) *Inschatting belang en kansrijkheid:* De beschreven aanpak is behoorlijk streng in fysisch en wiskundig opzicht, en verdient navolging. De evolutie van de vezeloriëntatie en de invloed ervan op de schuifsterkte is in veendijken belangrijk. Aanpassing van het model naar veen (aanpassing vezel- en matrixeigenschappen) is zeker te overwegen. Op deze wijze ontstaat een constitutief model dat zonder overlay-aannames, in eindige elementenmethoden is te gebruiken. De ellipsoïde in figuur 12 komt overeen met die in " Enkele ideeën over modelvorming veen".

*Limit analysis with anisotropic fibre-reinforced soil. Michalowski 2008*

*Inschatting belang en kansrijkheid:* De aannamen van associativiteit en geen inwendige energie-dissipatie ter weerszijden van het glijvlak, maken het model minder geschikt voor veen. De fundamentele van deze aanpak vervallen echter als voor niet-associativiteit wordt gekozen. Dat is een breder probleem, dat de toepassing van de kinematische methode in samenhangende grond in het algemeen raakt. De beschreven aanpak kan niettemin op bruikbaarheid kunnen worden onderzocht. Het voordeel ervan is dat veel aspecten van de vezelbijdrage op een verantwoorde wijze gemodelleerd worden. Verder kan meespelen de eenvoud en snelheid van dergelijke analytische oplossingen ten opzichte van eindige elementen berekeningen van bezwijken.

*Multi scale mechanics, o.a. prof. Stefan Luding, TU Twente*

✓✓ *Inschatting belang en kansrijkheid:* Discrete element modelling is de "koninklijke weg" (website Onze Taal: staat voor weliswaar de beste, de juiste, de officiële weg, maar niet voor de meest realistische weg). Inzicht in de bijdrage van de vezels aan sterkte en stijfheid is feitelijk alleen langs deze weg te bereiken. Van belang is het onderbouwen van het werk met metingen, die om zeer minutieus onderzoek zullen vragen (sterkte, stijfheid, lengte, doorsnede, kronkeligheid, oriëntatie van vezels en de verdelingen daarvan). De huidige experimentele infrastructuur is hier niet op ingericht, en het inzicht in het effect van de structuur van veen op het grondmechanische gedrag is gering. De inhomogeniteit en natuurlijke variabiliteit van veen verergeren dit probleem. Als dan ten slotte het micro-mechanische gedrag goed begrepen is, moet nog de opschaling naar constitutieve modellen voor gebruik in eindige elementen programma's worden gemaakt.

Het belang van deze gekoppelde numerieke - experimentele aanpak is zondermeer als groot te omschrijven. Kansrijk is het echter alleen als er veel in wordt geïnvesteerd. De spin-off is alleen op langere termijn te verwachten.

#### **Modellen voor composiete materialen**

*Inschatting belang en kansrijkheid:* De overeenkomst tussen vezelversterkte kunststof piles en het dijken-op-veen probleem is gering, en de toepassing van vezels in beton lijkt vooralsnog vooral bedoeld om scheurgrootte te beperken. Een toepassing op dijken op veen lijkt vergezocht. Verder onderzoek naar de bruikbaarheid van deze modellen is niet zinloos, maar wordt niet kansrijk geacht.

#### **Voor veen aangepaste grondmodellen**

*Anisotrope versie van Soft Soil Creep*

✓✓✓ *Inschatting belang en kansrijkheid:* De negatieve initiële oriëntatie van het vloeiooppervlak van veen in de anisotrope versie van het soft soil creep model is nog niet verder uitgewerkt. De al goede ervaring met het isotrope soft soil creep model ten aanzien van veen, kan mogelijk versterkt worden door dit alsnog te doen. Dat is zeker aan te bevelen.

## 8 Literatuur

Waldron, L. J. (1977). The shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil. *J. Soil Sci. Soc. Am.* 41, No. 5, 843–849.

Gray, D. H. & Ohashi, H. (1983). Mechanics of fiber reinforcement in sand. *J. Geotech. Engng* 109, No. 3, 335–353.

Landva, A.O. & La Rochelle, P. (1983). Compressibility and shear characteristics of Radforth peats. A.S.T.M. S.T.P. 820: Testing of peats and organic soils. Ann Arbor, Michigan.

Yamaguchi, H., Ohira, Y., Kogure, K. (1985c). Undrained shear characteristics of normally consolidated peat under triaxial compression and extension conditions. *Soils & Foundations*, Vol. 25, No. 3, pp. 1-18.

Den Haan, E.J. (1987). Veen, een Grondmechanisch Probleem. Grondmechanica Delft report CO-416731/24 february 1987.

Molenkamp, F. (1987). Veen als elastisch, met vezels gewapend medium. 5p, handgeschreven, gedateerd 21.12.1987.

Den Haan, E.J. (1989). Enkele ideeën over modelvorming veen. Grondmechanica Delft report CO-305866/2 mei 1989.

Den Haan, E.J. (2011). Literatuurstudie "Dijken op Veen". Deltares rapport 1203768, dec. 2011.

Sellmeijer, J.B. (1989, 1990). Veen Constitutief Model. Grondmechanica Delft report CO-305868 aug. 1989, jan. 1990.

Di Prisco, C. & Nova, R. (1993). A constitutive model for soil reinforced by continuous threads. *Geotextiles and Geomembranes* 12, No. 2, 161–178.

Molenkamp, F. (1994) Investigation of requirements for plane strain element tests on peat. *Advances in understanding the mechanical behaviour of peat*. Balkema Rotterdam, 181-203.

Sellmeijer, J.B. (1994) Anisotropic peat model. *Advances in understanding and modelling the mechanical behaviour of peat*. Balkema Rotterdam, 211-230.

Teunissen, J.A.M. (1995). Numerical modelling of peat. In: *Compression and Consolidation of Clayey Soils*, Yoshikuni & Kusakabe (eds), 1:367-372

Zornberg, J. G. (2002). Discrete framework for limit equilibrium analysis of fibre-reinforced soil. *Géotechnique* 52, No. 8, 593–604.

Michalowski, R. L. & Čermák, J. (2003). Triaxial compression of sand reinforced with fibers. *J. Geotech. Geoenviron. Engng* 129, No. 2, 125–136

Zwanenburg C. & Barends F.B.J. (2005) Unravelling the anisotropy of peat. 16<sup>th</sup> ICSMGE Osaka.

Zwanenburg C. (2005). The influence of anisotropy on the consolidation of peat. PhD thesis.

Cola, S., Cortellazzo, G. (2005). The shear strength behavior of two peaty soils. *Geotech. & Geol. Engineering* (Springer Verlag), 2005,23:679-695.

Kabla A. & Mahadevan L. (2007) Nonlinear mechanics of soft fibrous networks. *Jnl. Royal Soc. Interface* 4, 99–106.

Michalowski, R. L. (2008). Limit analysis with anisotropic fibre-reinforced soil. *Géotechnique* 58, No. 6, 489–501

Leoni, M., Karstunen, M. & Vermeer, P. A. (2008). Anisotropic creep model for soft soils. *Géotechnique* 58, No. 3, 215–226

Leoni, M., Karstunen, M. & Vermeer, P. A. (2010). Discussion of Anisotropic creep model for soft soils. *Géotechnique* 60, No. 12, 963–966

Hendry M.T. (2011) The geomechanical behaviour of peat foundations below rail-track structures. December 2011 University of Saskatchewan, PhD thesis, 254 pp.

Hendry M.T., Sharma J.S., Martin C.D. , and Barbour S.L. (2012) Effect of fibre content and structure on anisotropic elastic stiffness and shear strength of peat. *Can. Geotech. J.* 49: 403–415 (2012)

### **Literatuur Molenkamp / Heshmati**

Heshmati, A.A.R. (2000) Numerical Simulation of Properties of Peat. PhD Thesis, Department of Civil and Construction Engineering, University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST).

Heshmati, A.A.R. and Molenkamp, F., (2001), "Simulation of Compression of Peat in Axial Shear Test", *Computational Mechanics in Engineering in UK, 9th ACME Annual Conference UK, School of Civil Engineering, University of Birmingham* 8-10 April. Proc., pp. 29-32.

Heshmati, A.A.R. and Molenkamp, F., (2000), "Simulation of Behaviour of Fibrous Peat by Means of Elasto-Plastic Bulk Material Model", *Computational Mechanics in Engineering in UK, 8th ACME Annual Conference UK, School of Computing and Mathematical Sciences, University of Greenwich*, 16-19 April. Proc., pp. 131-134.

Heshmati, A.A.R. and Molenkamp, F., (1999), "Elasto-Plastic Fibre Model for Peat and its Numerical Implementation", *Computational Mechanics in Engineering in UK, 7th ACME Annual Conf. UK, School of Engineering, University of Durham*, 29-30 March, pp. 199-202.

Heshmati, A.A.R., Molenkamp, F., (1998a), "Numerical Simulation of Stiffness of Fibrous Peat Using Composite Model", *Proc. of the International Symposium on Problematic Soils, IS-Tohoku* 98, Sendai, Japan, 28-30 October, (eds E. Yanagisawa, N. Moroto and T Mitachi) Balkema A.A., Rotterdam, pp. 45-48.

Heshmati, A.A.R. and Molenkamp, F., (1998b), "Numerical Simulation of Elastic Composite Model for Peat Soils", Computational Mechanics in UK, 6th ACME Annual Conf. UK, School of Engineering, University of Exeter, 6-7 April, pp. 75-78.

Heshmati, A.A.R. and Molenkamp, F., (1998c), "Experimental Model for Strength of Fibrous Peat", 5th Iranian Civil Engineering Seminar in UK, London, 4 July.

Molenkamp, F. and Heshmati, A.A.R., (1998), "Axial Shear Testing for Measuring Anisotropy of Fibrous Peat", Proc. of the International Symposium on Problematic Soils, IS-tohoku'98, Sendai, Japan, 28-30 October, (eds E. Yanagisawa, N. Moroto and T Mitachi) Balkema A.A., Rotterdam, pp. 41-44.

Molenkamp, F. and Heshmati, A.A.R., (1997), "Concepts of Modelling and Measurement of Anisotropy of Fibrous Peat", Proc. Conf. on Recent Advances in Soft Soil Engineering, Kuching, Sarawak, Malaysia, Eds. B.B.K. Huat, H.M. Bahia, Samasa Press, pp. 210-229.

Molenkamp, F., Heshmati, A.A.R. and Lane, P.A., (1996), "Analytical and Numerical Study to Justify the Application of a Composite Model to Peaty Type of Soils", Proc. Second Ecomas Conf. of the European Community on Computational Methods in Applied Sciences, Numerical Methods in Engineering 96, Paris, Wiley & Sons, 9-13 September, pp. 381-387.

Heshmati A.A.R. and Janalizadeh A.C., (1996), "Finite Element Model for Composite Elastic Material", Proc. of 4th Iranian Civil Engineering Seminar in UK, Manchester, 24 February, pp. 13-23.

Molenkamp F., Lane P. and Heshmati A.A.R., (1996), "A New Model and Test Procedure for Peaty Soils", Computational Mechanics in UK, 4th ACME Annual Con., University of Glasgow, Glasgow, 4-5 January, pp. 133-136.



## **L Doorlatendheidsmetingen**

## Memo

**Aan**  
Cor Zwanenburg

**Datum**  
20 juni 2012

**Aantal pagina's**  
17

**Van**  
Bert Sman

**Doorkiesnummer**  
+31 (0)88 33 57 294

**E-mail**  
bert.sman@deltares.nl

**Onderwerp**  
Markermeerdijkonderzoek  
In situ doorlatendheidsmetingen op veen

---

## 1 Probleemstelling

Bij de veldproef bij de Markermeerdijk (1203768) is behoefte aan meer inzicht in de actuele doorlatendheid van het aanwezige veenpakket. In het laboratorium is op gestoken monsters de (verticale) doorlatendheid bepaald. Doordat veen een gelaagd materiaal is, dat sterk samendrukbaar is geven deze in het laboratorium bepaalde doorlatendheden nog een onvoldoende beeld van de mogelijke op locatie optredende waterstroming door het veen. Dit wordt onder andere afgeleid uit de waargenomen consolidatie en bij de geringe toestroming van water naar de recent gegraven sloten.

De onderzoeksvraag is om met eenvoudige middelen de in situ doorlatendheid van het veen te bepalen. Primair de horizontale doorlatendheid, maar zo mogelijk ook de in situ verticale doorlatendheid.

### 1.1 Situatie

De proeflocatie wordt gekenmerkt door een Holoceenpakket van circa 10 meter dikte. Vanaf maaiveld (NAP -1,5 m) tot circa NAP -6,5 m wordt een veenpakket aangetroffen. Het volumegewicht van dit pakket is laag, ongeveer gelijk aan water.

Onder het veenpakket wordt een kleipakket aangetroffen met een dikte van circa 5 meter.

Onder dit pakket wordt op NAP -11,5 m het watervoerende pakket aangetroffen.

Het onderzoeksgebied is te karakteriseren als een infiltratiegebied. Het ondiepe grondwater staat ongeveer 0,1 à 0,2 meter onder maaiveld, dat is een waterstand van NAP -1,6 à -1,8 m.

De stijghoogte het watervoerende pakket bedraagt circa NAP -2,1 m.

Bij de preparatie van het onderzoeksterrein zijn sloten gegraven, waarbij de slootbodem zich bevindt op circa 2,5 meter onder maaiveld. Na het graven van de sloot is geconstateerd dat het water slechts langzaam toestroomt naar de sloot.

## 2 Doorlatendheidsmetingen

### 2.1 Horizontale doorlatendheid

#### 2.1.1 Falling head test

In minder doorlatende afzettingen is het goed mogelijk met de falling head methode de doorlatendheid in situ te bepalen. Aandachtpunten bij de proef zijn:

- Verstoring van het bodemprofiel tijdens boren en plaatsen filter.
- Afsluiting onder en boven het filter.
- Filtermateriaal.
- Drukverschillen beperken om verstoring van afzettingen te voorkomen of opbarsten van het pakket langs de stijgbuis.
- Ontluchten van boorgat en peilfilter.
- Stijgbuis circa 1 m boven maaiveld laten uitsteken, om voldoende water te kunnen opzetten.

Bepalend voor de duur van de proef zijn naast de diameter en de lengte van het filter, de hoogte waarmee het water in de peilbuis wordt opgezet. Om in te spelen op het mogelijk “opbarsten” van het pakket langs het filter is het aan te bevelen meerdere proeven uit te voeren, waarbij telkens wordt gewerkt met een grotere mate van opzetten van water.

Het uitwerken van bovenstaande falling head test kan met de methode “Hvorslev” plaatsvinden. In onderstaande uitwerking is voor een aantal mogelijke doorlatendheden de duur van de proef bepaald.

#### Ontwerp falling head test

Voor een mogelijke diameter van de stijgbuis en een lengte van het filter is het leeglopen van de peilbuis doorgerekend om de duur van de proef te bepalen. Deze berekening is uitgevoerd voor verschillende veronderstelde doorlatendheden van het veen, uitgaande van het opzetten van het water in de peilbuis met 0,5 m. In Tabel 2.1 zijn de resultaten samengevat, waarbij de overhoogte in de peilbuis is afgenomen tot circa 40% van de oorspronkelijke hoogte. Bij het doorrekenen van de proef is uitgegaan van een lengte van het filter van 1,0 m en diameters van de stijgbuis van respectievelijk 0,05 m en 0,02 m. De grotere diameter is geschikt voor proeven in veen tot een doorlatendheid van ongeveer  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s. Bij proeven met een lagere doorlatendheid tot  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s kan beter gebruik gemaakt worden van een inwendige diameter van 0,02 m.

Opmerkingen:

- Een verdere reductie van de diameter wordt niet wenselijk geacht daar kleine onnauwkeurigheden in de meting dan een te grote invloed gaan krijgen op de berekende doorlatendheden.
- Het halveren van de hoogte van het filter (0,5 m i.p.v. 1,0 m) resulteert in een verlenging van de duur van de proef met een factor 1,7.

$k_h$	D = 0,05 m			D = 0,02 m		
	[m/s]	[sec]	[min]	[uur]	[sec]	[min]
$1 \cdot 10^{-5}$	100	2	-	21	0,04	-
$1 \cdot 10^{-6}$	1.080	18	0,3	210	3,5	-
$1 \cdot 10^{-7}$	10.800	180	3	2.100	35	0,6
$1 \cdot 10^{-8}$	108.000	1800	30	21.000	350	5,8

*Lengte filter = 1,0 m; diameter boorgat = 0,07 m; initiële overhoogte = 0,5 m.*

Tabel 2.1 Indicatief berekende duur van een proef afhankelijk van doorlatendheid en afmetingen peilfilter

Op basis van bovenstaande indicatieve berekeningen zijn voor deze serie proeven drie peilfilters afgesteld in peilbuizen met de in Tabel 2.2 vermelde kenmerken.

Voor elke peilbuis / peilfilter is geldt:

- Diameter boorgat 0,07 m
- Inwendige diameter stijgbuis 0,0254 m
- Lengte van het peilfilter 0,50 m

Peilbuis	X	Y	Maaiveld	BKB	OKF	BKF
[m/s]	[m]	[m]	[NAP m]	[NAP m]	[NAP m]	[m -mv]
Pb-01	133.575	492.862	-1,429	-0,747	-3,23	1,80
Pb-02	133.574	492.857	-1,333	-0,365	-4,83	3,49
Pb-03	133.573	492.852	-1,327	-0,746	-5,25	3,92

*BKB = bovenkant peilbuis (vermeld ten opzichte van maaiveld)*  
*OKF = onderkant van het peilfilter (vermeld ten opzichte van NAP)*  
*BKF = bovenkant van het peilfilter (vermeld ten opzichte van maaiveld)*

Tabel 2.2 Plaatsingsgegevens peilbuizen en peilfilters

De peilbuizen zijn in een rij geplaatst met een onderlinge afstand van ongeveer 5 m.

Op basis van de bovenstaande ontwerpparameters wordt een duur van de individuele proeven verwacht tussen de 0,5 en de 3 uur, afhankelijk van de actuele doorlatendheid van het veen ter plaatse.

## 3 Falling Head Test

### 3.1 Meetresultaten

De proeven zijn uitgevoerd op drie peilbuizen. Per peilbuis zijn na elkaar verschillende proeven uitgevoerd, waarbij telkens de overhoogte in de stijgbuis is vergroot. In de eerste proef is gewerkt met een overhoogte van circa 30 cm, achtereenvolgens is dit vergroot naar 50, 80 en 100 cm. Een volgende proef is gestart wanneer de indruk was verkregen dat de waterstand in de peilbuis op zijn oorspronkelijk niveau was teruggekeerd. De waterstand in de peilbuis is geregistreerd met automatische opname apparatuur (divers). De frequentie van registratie bedroeg daarbij 2 seconden.

In bijlage 1 zijn per peilbuis de gemeten waterstanden in de peilbuis als functie van de tijd weergegeven. De waterstand is relatief geregistreerd ten opzichte van de diver, waarbij geen relatie is gelegd ten opzichte van het NAP niveau. In de bijlage is in Figuur 1 tot en met Figuur 3 deze relatieve stand weergegeven. Voor de verschillende peilbuizen is in de grafische weergave de horizontale en verticale schaal in de verschillende grafieken gelijk gehouden. Per peilbuis is ook een nulniveau bepaald, in principe de waterstand voordat begonnen is met het verhogen van het waterpeil.

#### 3.1.1 Peilbuis 1

Na het in hangen van de diver was in peilbuis 1 gedurende het eerste halfuur sprake van een daling van de waterstand in de peilbuis met circa 1 cm. Mogelijk hangt dit samen met de volumeverandering als gevolg van het in hangen van de diver en de geringe doorlatendheid van het materiaal waarin het filter is afgesteld. Doordat de proeven in de drie peilbuizen kort na elkaar zijn gestart is niet te beoordelen of de verandering van de waterstand die kort na het in hangen van de diver is geconstateerd een natuurlijke oorzaak kan hebben. Hierbij kan gedacht worden aan neerslag, een verandering van het slootpeil of het aanbrengen van een belasting. Het verdient aanbeveling om bij toekomstige proeven een (extra) peilfilter te gebruiken die niet gelijktijdig wordt gebruikt voor beproeving, zodat in dat peilfilter een eventuele natuurlijke verandering van de grondwaterstand wordt registreert.

Op basis van de metingen in het eerste halfuur na plaatsing en de voortgezette metingen tot het einde van de middag, is een nulniveau bepaald voor peilbuis 1. Dit nulniveau is weergegeven in Figuur 1. Uit de figuur volgt dat de stand zoals die 's ochtends wordt gemeten in de loop van de middag volledig is hersteld.

Kijkend naar de gemeten waterstanden bij de achtereenvolgens uitgevoerde proeven valt op dat de waterstand tussen de proeven nog niet is teruggekeerd op het oorspronkelijke niveau. Bij aanvang van een volgende proef is er nog sprake van een restverhoging van 4 à 5 cm. Op basis van het herstel van de grondwaterstand naar de laatste proef is afgeleid dat de duur van de proef in peilbuis 1 circa 3 uur bedraagt. Na deze periode is de grondwaterstand teruggekeerd op zijn oorspronkelijke niveau, waarmee een geleidelijke verandering van de waterstand als gevolg van natuurlijke verandering niet heeft plaatsgevonden.

Bij eventuele nieuwe proeven dient de duur van periode voordat een nieuwe proef wordt ingezet bepaald te worden aan de hand van de in de peilbuis gemeten resterende verandering van de waterstand. Een richtwaarde hierbij is een afwijking van minder dan 0,02 m ten opzichte van de initiële waterstand.

### 3.1.2 Peilbuis 2

Na het in hangen van de diver in peilbuis 2 (zie Figuur 2) was de daling van de waterstand in de peilbuis duidelijk geringer dan bij peilbuis 1. In deze peilbuis ligt de daling in de orde van grootte van enkele millimeters.

Op basis van de metingen in het eerste halfuur na plaatsing en de voortgezette metingen tot het einde van de ochtend, is een nulniveau bepaald voor peilbuis 2. Dit nulniveau is weergegeven in Figuur 2. Uit de figuur volgt dat de stand zoals die 's ochtends wordt gemeten aan het eind van de ochtend is hersteld. Opvallend is dat er daarna nog sprake is van een korte toename van de waterstand in de peilbuis. De meting in deze peilbuis is gelet op het snelle herstel in het begin van de middag gestopt. Op basis van het herstel van de grondwaterstand na de laatste proef is afgeleid dat de duur van de proef in peilbuis 2 circa 0,5 uur bedraagt.

Kijkend naar de gemeten waterstanden bij de achtereenvolgens uitgevoerde proeven valt op dat de waterstand tussen de proeven is teruggekeerd op het oorspronkelijke niveau. Alleen bij aanvang van de derde proef is er nog sprake van een restverhoging van circa 2 cm.

### 3.1.3 Peilbuis 3

Na het in hangen van de diver was in peilbuis 3 (zie Figuur 3) gedurende het eerste halfuur sprake van een daling van de waterstand in de peilbuis met circa 1 cm. De daling is vergelijkbaar met die gemeten in peilbuis 1.

Op basis van de metingen in het eerste halfuur na plaatsing en de voortgezet metingen tot het einde van de middag, is een nulniveau bepaald voor peilbuis 3. Dit nulniveau is weergegeven in Figuur 3. Uit de figuur volgt dat de stand zoals die 's ochtends wordt gemeten in het begin van de middag volledig is hersteld. De niveauverschillen die in de loop van de middag nog worden gemeten zijn minder dan 1 cm.

Kijkend naar de gemeten waterstanden bij de achtereenvolgens uitgevoerde proeven valt op dat de waterstand tussen de proeven nog niet is teruggekeerd op het oorspronkelijke niveau. Bij aanvang van een volgende proef is er nog sprake van een restverhoging van 3 à 4 cm. Op basis van het herstel van de grondwaterstand na de laatste proef is afgeleid dat de duur van de proef in peilbuis 3 circa 0,75 uur bedraagt.

## 3.2 Analyse

Per proef zijn de gemeten waterstanden in grafiek gezet, waarbij  $T = 0$  is gelijkgesteld aan de aanvang van de proef. De initiële verhoging is vastgesteld als het verschil tussen de gemeten waterstand op  $T=0$  en het voor de gehele proefperiode bepaalde nulniveau. De gemeten standen zijn gefit met berekende standen met behulp van de formule van Hvorslev, waarbij de  $k$ -waarde de te optimaliseren parameter is. De fit is op het oog beoordeeld, waarbij de nadruk heeft gelegen op het begin van de metingen. De best passende waarden van de proeven in peilbuis 1 zijn samengevat in Tabel 3.1. De grafieken waarbij de metingen zijn gefit zijn opgenomen in de figuren Figuur 4 t/m Figuur 7 in bijlage 2.

Proef	Doorlatendheid ( $k_h$ )	Opmerking
	[m/s]	
PB01-H30	$8,5 \cdot 10^{-7}$	Na 300 s daalt de waterstand minder snel dan berekend
PB01-H50	$8,5 \cdot 10^{-7}$	Na 200 s daalt de waterstand minder snel dan berekend.
PB01-H80	$8,5 \cdot 10^{-7}$	Tot 250 s daalt waterstand sneller dan berekend, daarna minder snel.
PB01-H100	$8,5 \cdot 10^{-7}$	Tot 350 s daalt waterstand sneller dan berekend, daarna minder snel.

Tabel 3.1 Berekende  $k$  - waarde verschillende proeven in peilbuis 1

Bij een beperkte verhoging van de waterstand in de peilbuis wordt een betere overeenstemming bereikt tussen gemeten en berekende waterstand. Vooral alle proeven lijkt met een zelfde doorlatendheid de meest optimale fit bereikt te kunnen worden. De indruk bestaat dat doordat bij de vervolproeven de waterstand nog niet op het oorspronkelijke niveau was teruggekeerd er in de proeven ook een sprake is van een soort restfout in de orde van grote van de restverhoging aan het einde van de voorgaande proef.

Uit het gemeten verloop van de waterstand, in vergelijking met de berekende waterstand, zou geconcludeerd kunnen worden dat de doorlatendheid geen constante is. In het eerste deel van de proef lijkt de doorlatendheid hoger dan in het tweede deel van de proef. Dit effect lijkt sterker te zijn naarmate de initieel opgelegde overhoogte groter is.

Bij een volgende proevenserie is het wenselijk om naast falling head proeven ook een serie proeven uit te voeren waarbij initieel de waterstand wordt verlaagd. Op onderhavige locatie wordt geadviseerd dit met een kleinere intervallen van 10 en 20 cm uit te voeren, vergeleken met de huidige falling head tests (30, 50, 80 en 100 cm verlaging van de grondwaterstand).

Voor de nieuwe proeven wordt voorgesteld om zowel de bestaande peilfilters te gebruiken alsmede 3 nieuw te plaatsen peilfilters. Door de proeven op oude en nieuwe peilbuizen uit te voeren kan geanalyseerd worden of het toepassen van een overhoogte mogelijk tot een blijvende verandering in de doorlatendheid van het veen rond het filter heeft geresulteerd.

Proef	Doorlatendheid ( $k_h$ )	Opmerking
	[m/s]	
PB02-H30	$2,3 \cdot 10^{-6}$	Goede fit
PB02-H50	$3,4 \cdot 10^{-6}$	Hogere doorlatendheid. Redelijke fit, na 150 s geringe afwijking.
PB02-H80	$5,0 \cdot 10^{-6}$	Lijkt sterk op H80, omdat initiële verhoging groter was dan gepland.
PB02-H100	$5,0 \cdot 10^{-6}$	Hogere doorlatendheid. Matige fit. Tot 100 s daalt waterstand sneller dan berekend, daarna minder snel.

Tabel 3.2 Berekende  $k$  - waarde verschillende proeven in peilbuis 2

In tegenstelling tot bij peilbuis 1 kunnen de proeven niet gefit worden met één waarde voor de doorlatendheid. Tussen de proef met een verhoging van 30 cm en die met een verhoging van 100 cm, is sprake van ongeveer een verdubbeling van de waarde van de doorlatendheid bij een optimale fit.

Bij deze proeven is het herstel van de waterstand sneller dan bij peilbuis 1, dit vertaalt zich ook in een hogere doorlatendheid. De optimale doorlatendheid bij peilbuis 2 ligt een factor 2,5 tot 6 hoger dan bij peilbuis 1.

Proef	Doorlatendheid ( $k_h$ )	Opmerking
	[m/s]	
PB03-H30	$7,0 \cdot 10^{-7}$	Goede fit
PB03-H50	$1,5 \cdot 10^{-6}$	Hogere doorlatendheid. Redelijke fit, na 150 s geringe afwijking.
PB03-H80	$3,5 \cdot 10^{-6}$	Lijkt sterk op H80, omdat initiële verhoging groter was dan gepland.
PB03-H100	$5,0 \cdot 10^{-6}$	Hogere doorlatendheid. Matige fit. Tot 100 s daalt waterstand sneller dan berekend, daarna minder snel.

Tabel 3.3 Berekende  $k$  - waarde verschillende proeven in peilbuis 3

Net als bij peilbuis 2 en in tegenstelling tot peilbuis 1 kunnen de proeven niet gefit worden met één waarde voor de doorlatendheid. Tussen de proef met een verhoging van 30 cm en die met een verhoging van 100 cm, is sprake van ongeveer factor 7 hogere waarde van de doorlatendheid bij een optimale fit.

Bij deze proeven is het herstel van de waterstand enigszins sneller dan bij peilbuis 1. De doorlatendheid bij deze proef is niet constant. Bij de proef met 30 cm verhoging is de gefitte doorlatendheid lager dan de constante waarde van peilbuis 1. Bij hogere waarden voor de overhoogte neemt de waarde van de gefitte waarde toe en is bij 100 cm ongeveer een factor 6 hoger dan bij peilbuis 1. Deze laatste waarde is gelijk aan de waarde die bij peilbuis 2 is gefit bij een overhoogte van 100 cm.

### 3.3 Discussie

Een falling head test in een peilbuis blijkt een bruikbare methode te zijn om de doorlatendheid van veen in situ te bepalen. Uit de uitgevoerde proeven volgt wel dat de mate van overhoogte die wordt toegepast van invloed is op de waarde van de bepaalde doorlatendheid. Een hogere overhoogte resulteert in een hogere waarde voor de doorlatendheid.

Om de actuele doorlatendheid bij de heersende terreinspanning in het veld te bepalen is het noodzakelijk de niveauperandering in de peilbuis zo beperkt mogelijk te houden. Bij de op deze locatie aangetroffen doorlatendheden en de nauwkeurigheid van de diver metingen is aan te bevelen om bij eventuele vervolproeven uit te gaan van een verlaging of verhoging van de initiële waterstand met circa 10 cm.

Uitgaande van de veronderstelling dat de overhoogte resulteert in een volumeverandering in het veen, zijn de  $k$  - waarden bepaald uit de proeven met de kleinste overhoogte het meest representatief. Bij deze serie proeven betreft dat de overhoogte van 30 cm. In Tabel 3.4 Tabel 2.1 zijn deze waarden samengevat.

Peilbuis	K – waarde		BKF
	[m/s]	[m/d]	[m –mv]
Pb-01	$8,5 \cdot 10^{-7}$	0,073	1,80
Pb-02	$2,3 \cdot 10^{-6}$	0,199	3,49
Pb-03	$7,0 \cdot 10^{-7}$	0,060	3,92

*BKF = bovenkant van het peilfilter (vermeld ten opzichte van maaiveld)*



*Tabel 3.4 Meest representatieve waarden voor de doorlatendheid op basis van de falling head proeven*

De volumeverandering als gevolg van het aanbrengen van een overhoogte zou mogelijk ook een relatie kunnen hebben met de diepte ten opzichte van maaiveld waarop het filter is afgesteld. Een grotere diepte zou een hogere bovenbelasting en daarmee mogelijk een rem op de volumeverandering tot gevolg kunnen hebben. Dit fenomeen hebben wij in de uitgevoerde proeven niet kunnen vaststellen. De afname van de doorlatendheid en daarmee de veronderstelde volumeverandering was juist het geringst in het ondiepe peilfilter.

Bij de uitwerking van de proeven met de formule van Hvorslev is verondersteld dat de  $k$ -waarde constant is over de duur van de proef. Een afnemende overhoogte heeft waarschijnlijk tot gevolg dat de doorlatendheid afneemt gedurende de proef. Deze is dan niet constant. Om een constante  $k$ -waarde te realiseren zouden de proeven eigenlijk uitgevoerd moeten worden met een constant head. Dit vraagt echter een complexer proefopstelling, met een nauwkeurige registratie van de onttrokken of geïnfiltreerde hoeveelheid water. Gelet op de nauwkeurige opname van de waterstanden met de diver en de eenvoud van de proefopstelling wordt voor de bepaling van de in situ doorlatendheid aanbevolen gebruik te blijven maken van de methode met een falling head, waarbij de initieel aan te brengen verandering van de waterstand zoveel mogelijk beperkt wordt gehouden (+/- 10 cm).

## 4 Conclusies en aanbevelingen (voorlopige)

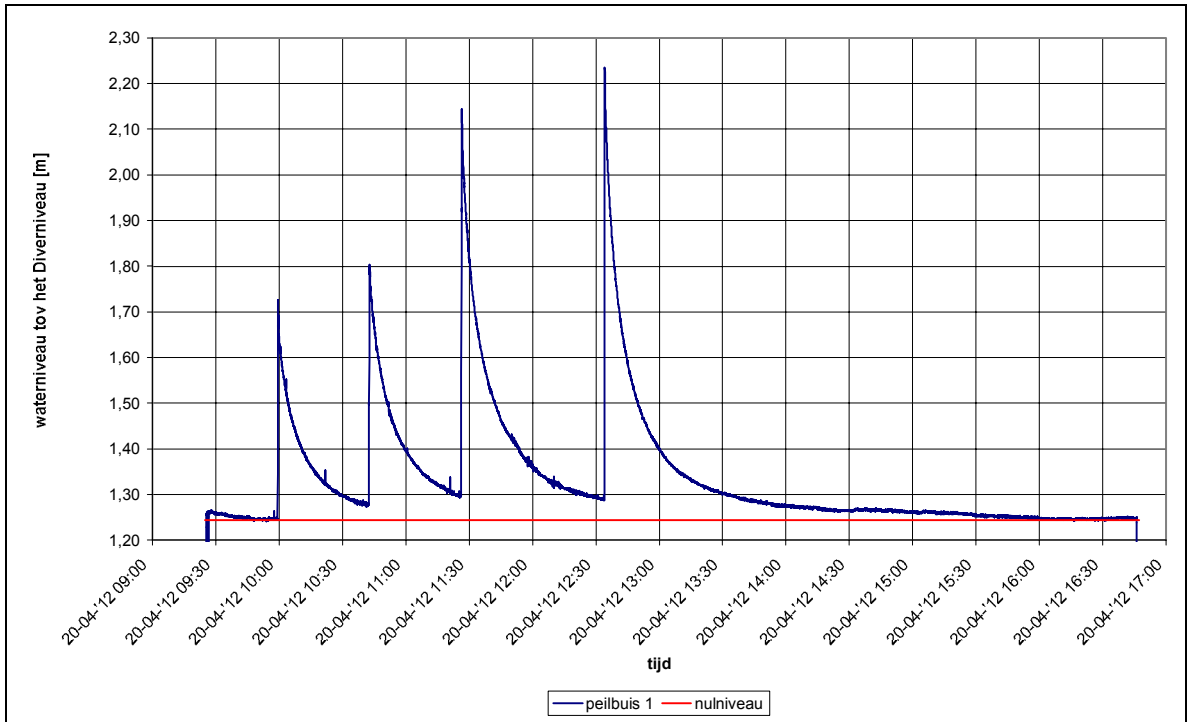
### 4.1 Conclusies

- Bij basis van de resultaten van de verschillende proeven wordt geconcludeerd dat de beste benadering van de doorlatendheid van het veen wordt verkregen uit de proeven met een geringe overhoogte. Bij onderhavige proeven zijn dat de tests met een overhoogte van 30 cm.
- Met behulp van falling head tests is de in situ doorlatendheid van veen bepaald in het proefveld nabij de Markermeerdijk. Op drie verschillende diepten zijn representatieve waarden voor de horizontale doorlatendheid bepaald van  $8,5 \cdot 10^{-7}$ ,  $2,3 \cdot 10^{-6}$  en  $7,0 \cdot 10^{-7}$  m/s (0,073; 0,199 en 0,060 m/d).
- De falling head tests zijn uitgevoerd met een stapsgewijs grotere overhoogte, van 30 tot 100 cm. Bij een grotere overhoogte was ook de berekende waarde voor de doorlatendheid hoger. Het verschil is opgelopen tot een factor 7 bij peilbuis 3. Dit is het diepst afgestelde peilfilter.
- Doordat de doorlatendheid een relatie lijkt te hebben met de actuele overhoogte is de doorlatendheid gedurende de proef niet constant. Dit maakt dat de interpretatie met behulp van de formule van Hvorslev niet gefit kan worden over de gehele duur van de proef.

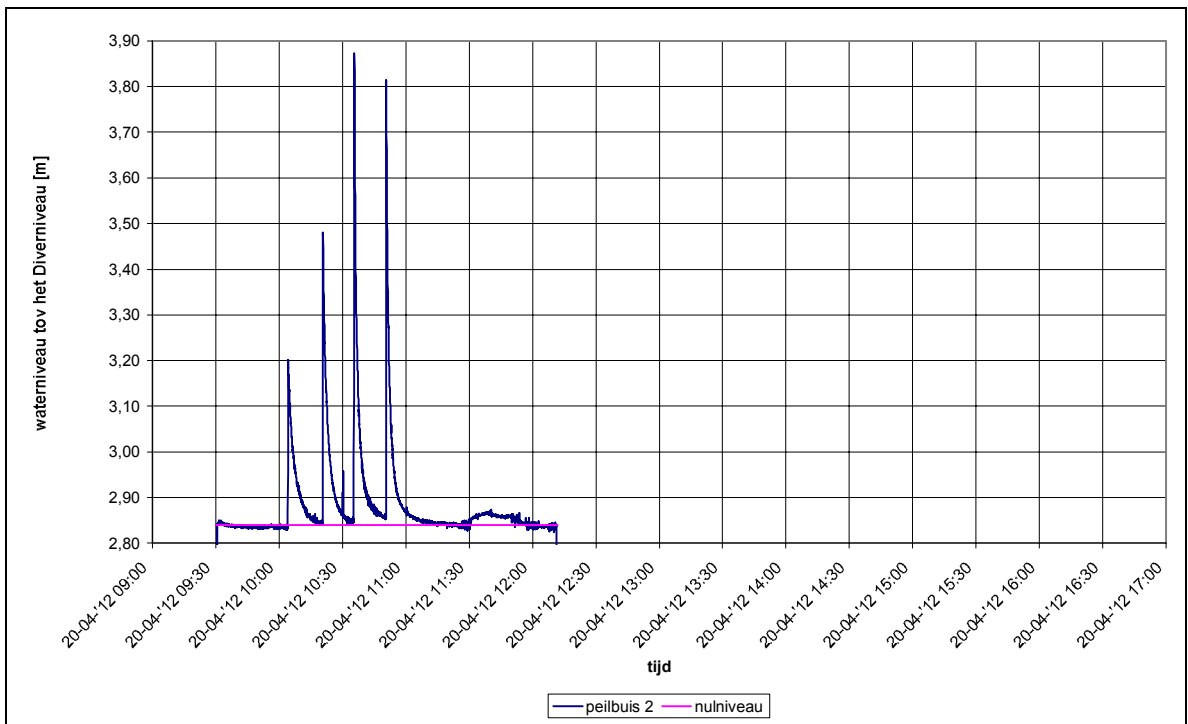
### 4.2 Aanbevelingen

- Het verdient aanbeveling om bij toekomstige proeven een (extra) peilfilter te gebruiken die niet gelijktijdig wordt gebruikt voor beproeving, zodat in dat peilfilter een eventuele natuurlijke verandering van de grondwaterstand wordt registreert.
- Bij eventuele nieuwe proeven dient de duur van periode voordat een nieuwe proef wordt ingezet bepaald te worden aan de hand van de in de peilbuis gemeten resterende verandering van de waterstand. Een richtwaarde hierbij is een afwijking van minder dan 0,02 m ten opzichte van de initiële waterstand.
- Bij een nieuwe proevenserie is het aan te bevelen om naast falling head proeven ook recovery tests te doen. Hierbij wordt initieel de waterstand verlaagd. Op onderhavige locatie wordt geadviseerd deze proeven met kleinere intervallen uit te voeren dan die bij de huidige proeven is gehanteerd. Aanbevolen wordt uit te gaan van 10 en 20 cm.
- Voor de nieuwe proeven wordt geadviseerd om zowel de bestaande peilfilters te gebruiken alsmede 3 nieuw te plaatsen peilfilters. Door de proeven op oude en nieuwe peilbuizen uit te voeren kan geanalyseerd worden of het toepassen van een overhoogte mogelijk tot een blijvende verandering in de doorlatendheid van het veen rond het filter heeft geresulteerd.

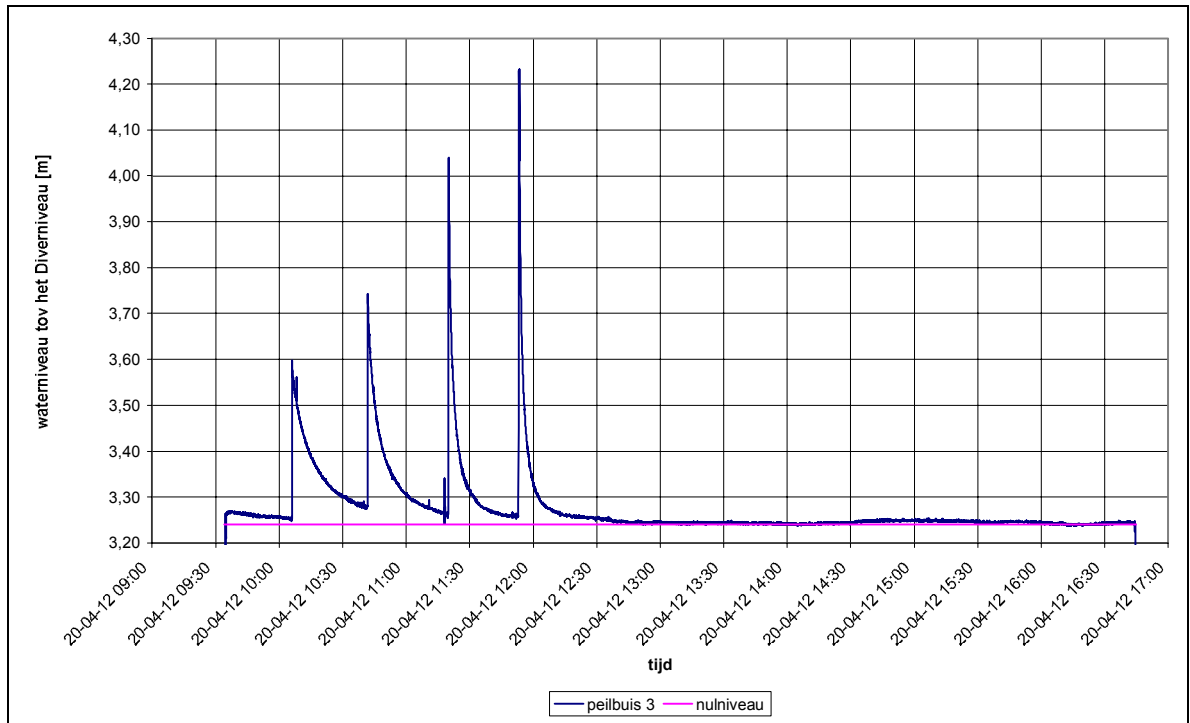
## Bijlage 1: gemeten waterstanden doorlatendheidsproeven



Figuur 1: Falling head tests peilbuis 1, gemeten waterstanden

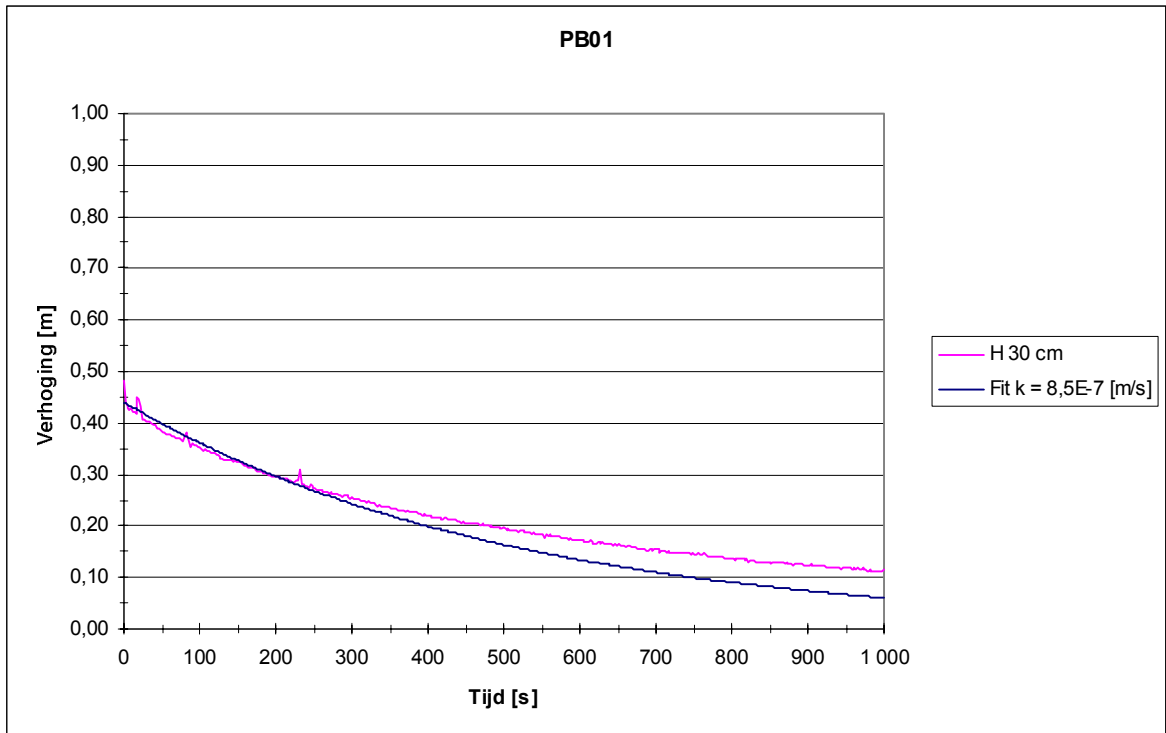


Figuur 2: Falling head tests peilbuis 2, gemeten waterstanden

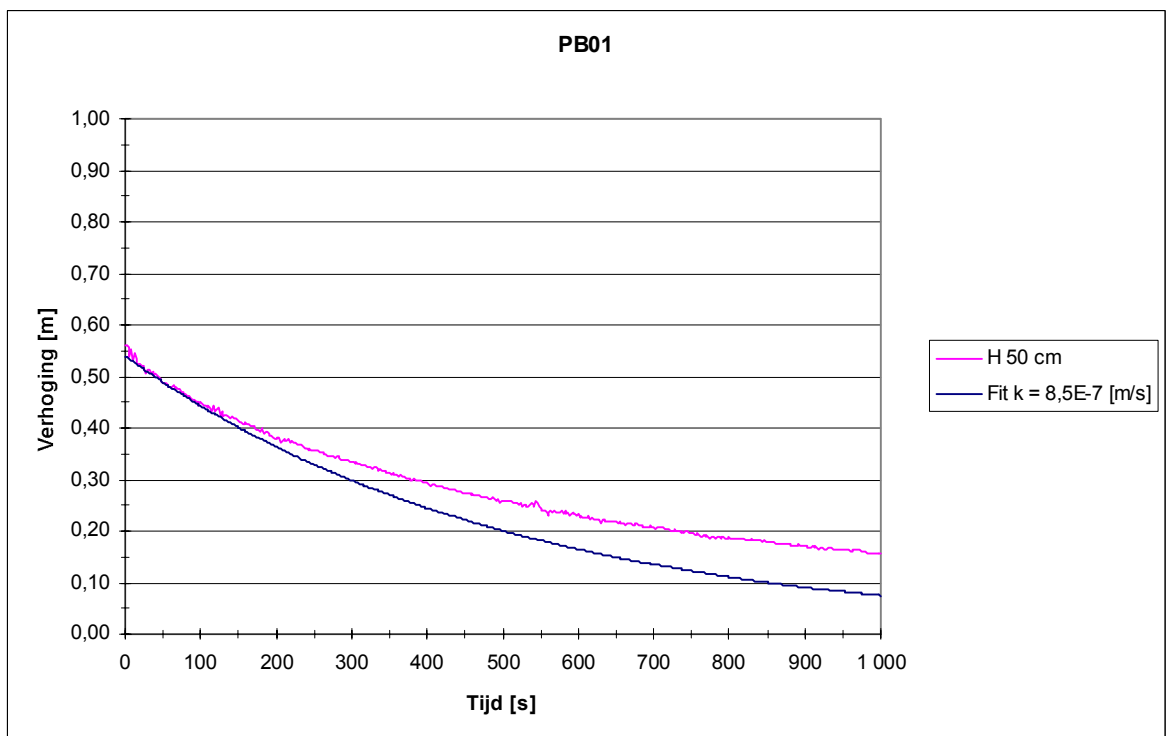


Figuur 3: Falling head tests peilbuis 3, gemeten waterstanden

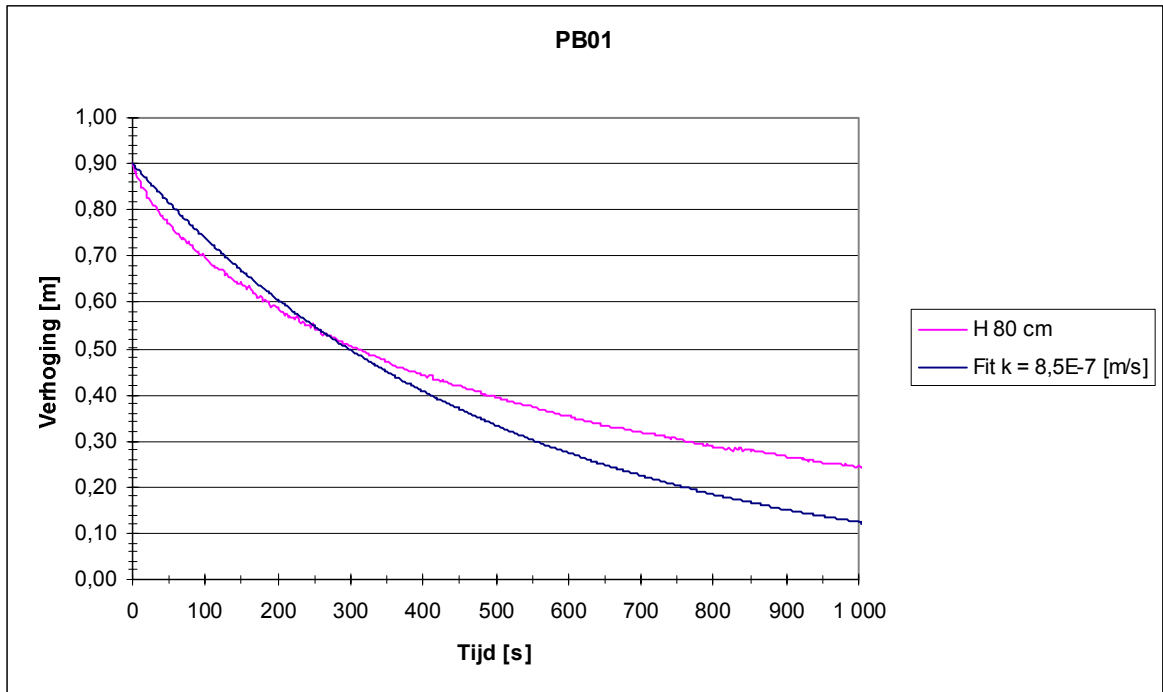
## Bijlage 2: uitwerking falling head tests



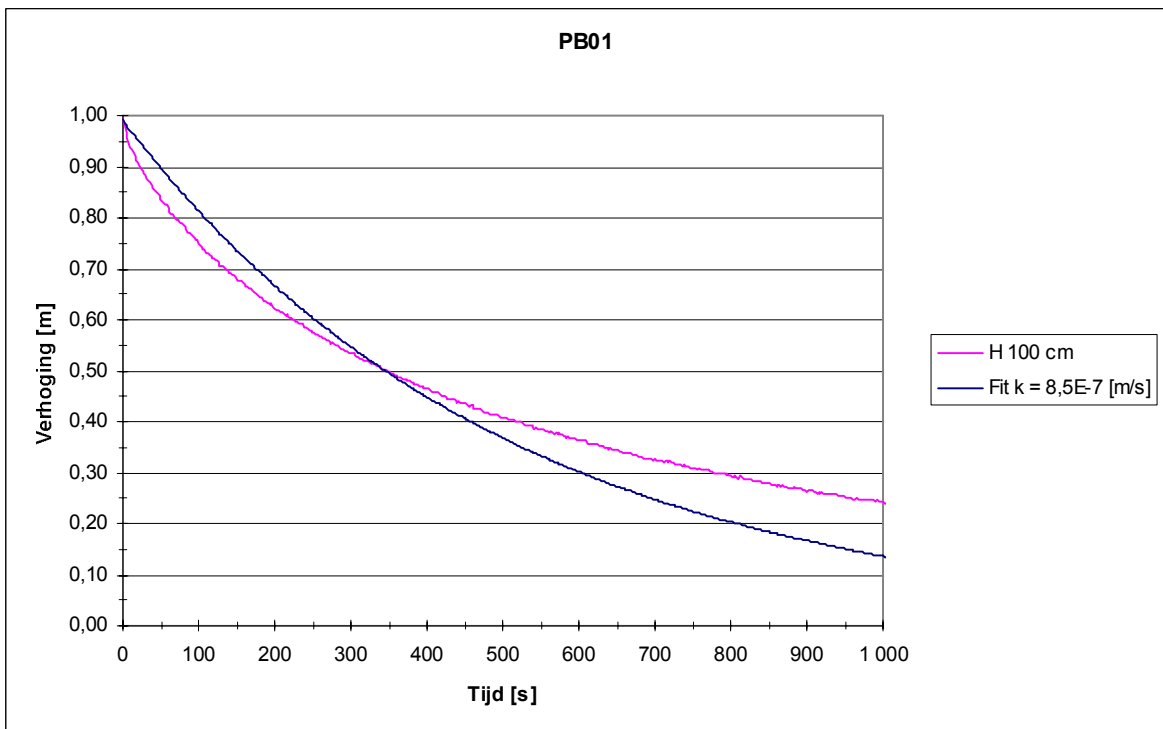
Figuur 4 Uitwerking doorlatendheidsmeting peilbuis 1 proef H=30 cm



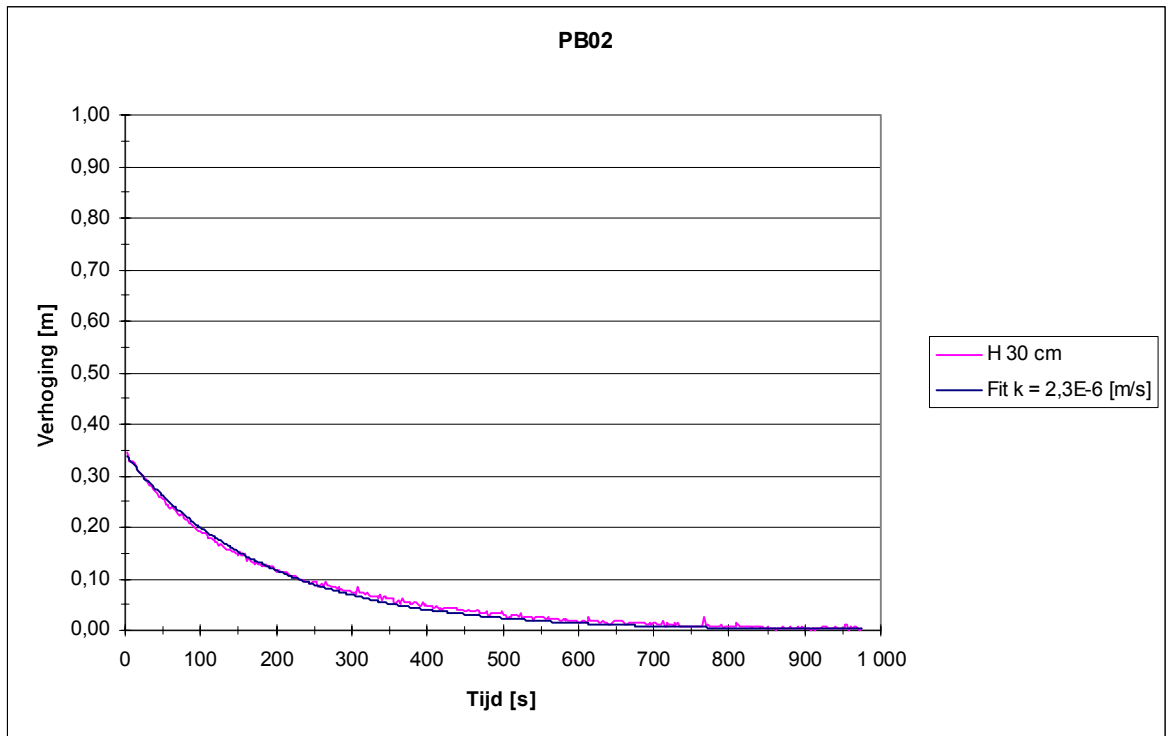
Figuur 5 Uitwerking doorlatendheidsmeting peilbuis 1 proef H=50 cm



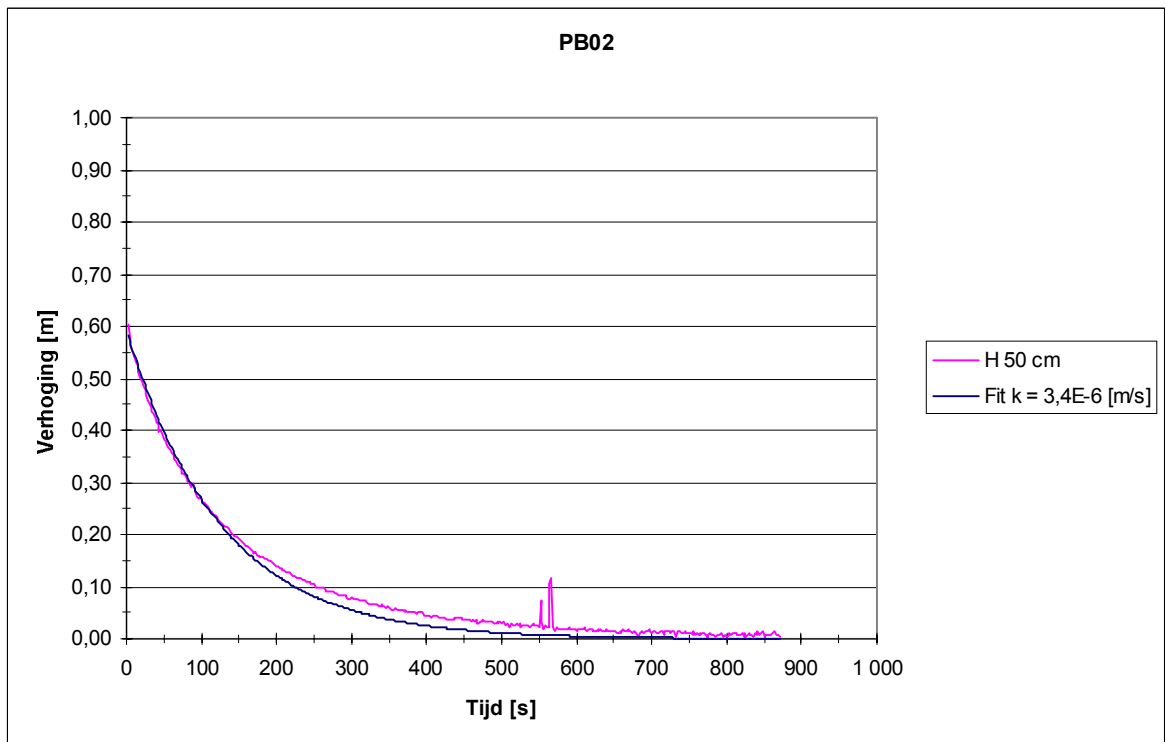
Figuur 6 Uitwerking doorlatendheidsmeting peilbuis 1 proef H=80 cm



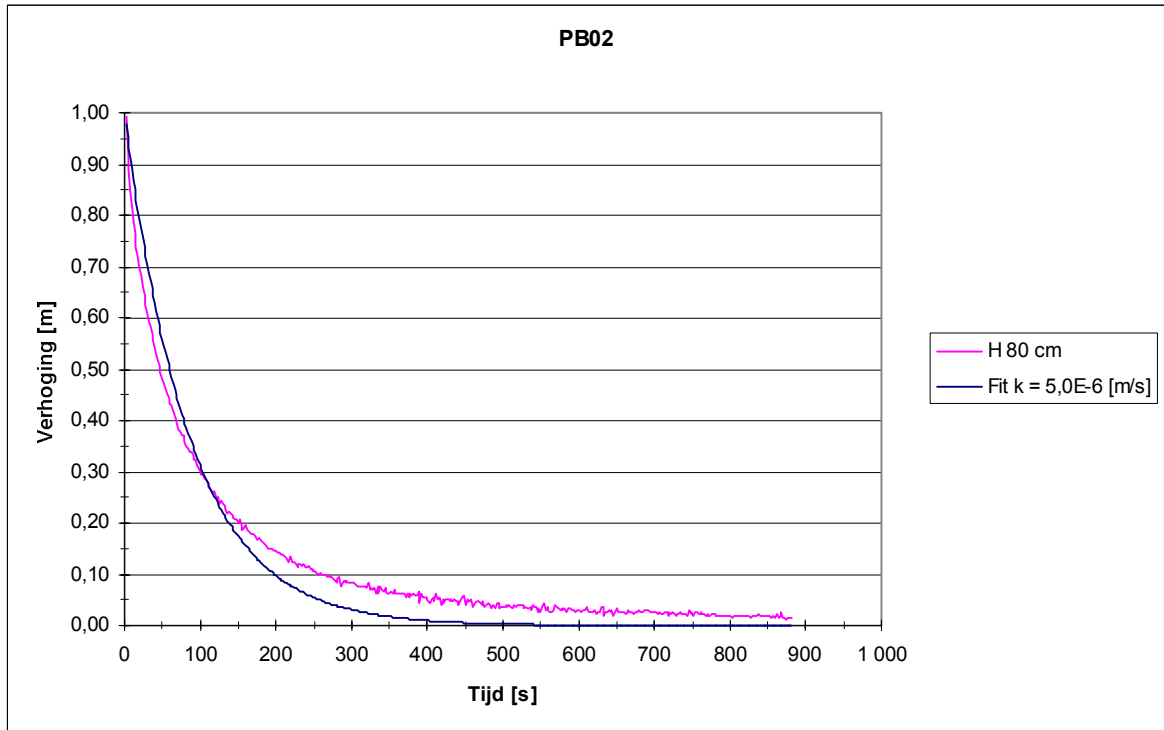
Figuur 7 Uitwerking doorlatendheidsmeting peilbuis 1 proef H=100 cm



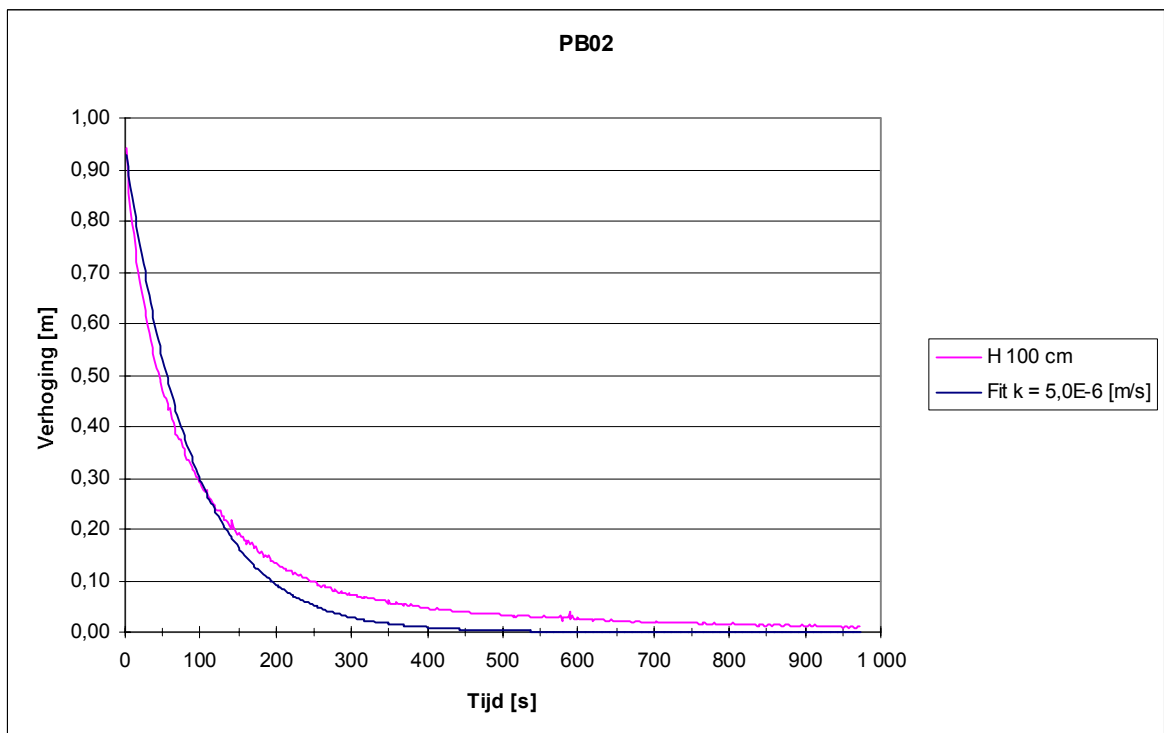
Figuur 8 Uitwerking doorlatendheidsmeting peilbuis 2 proef H=30 cm



Figuur 9 Uitwerking doorlatendheidsmeting peilbuis 2 proef H=50 cm

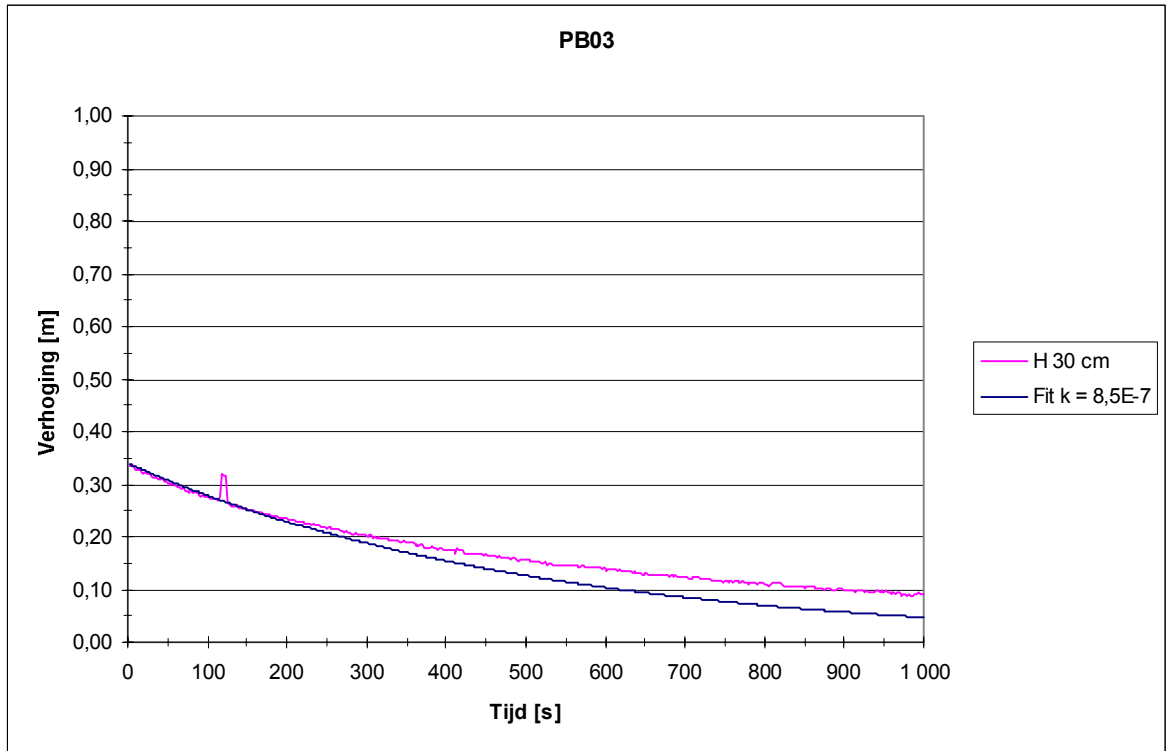


Figuur 10 Uitwerking doorlatendheidsmeting peilbuis 2 proef H=80 cm

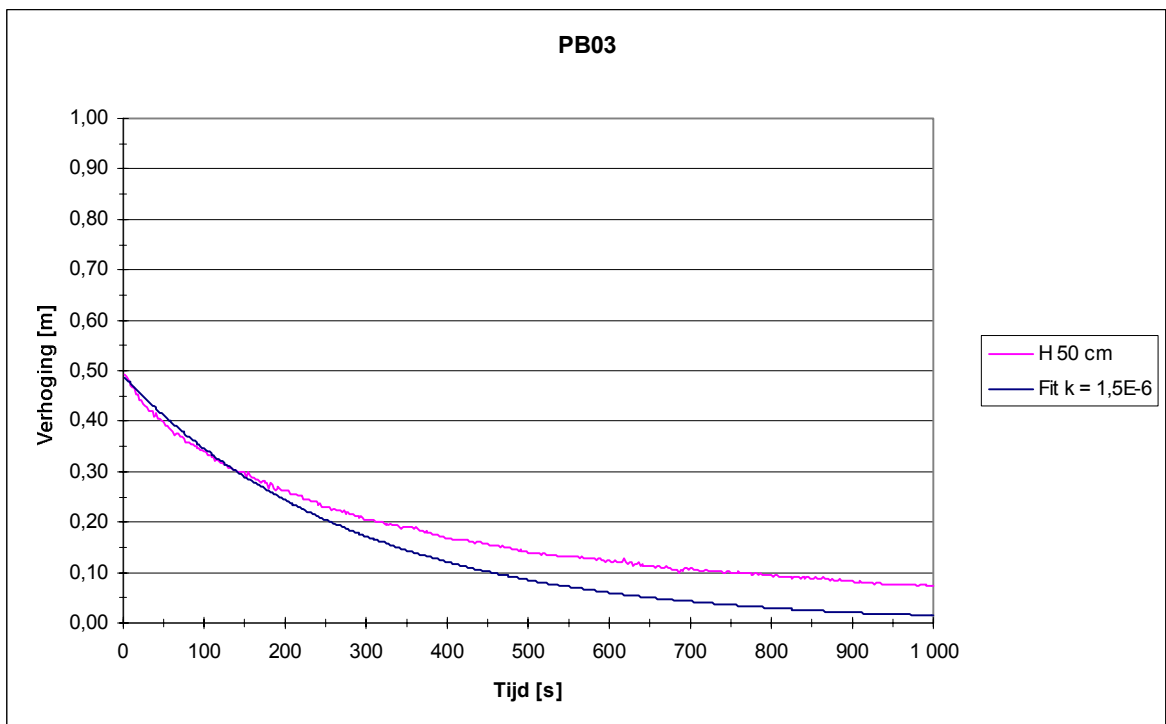


Figuur 11 Uitwerking doorlatendheidsmeting peilbuis 2 proef H=100 cm

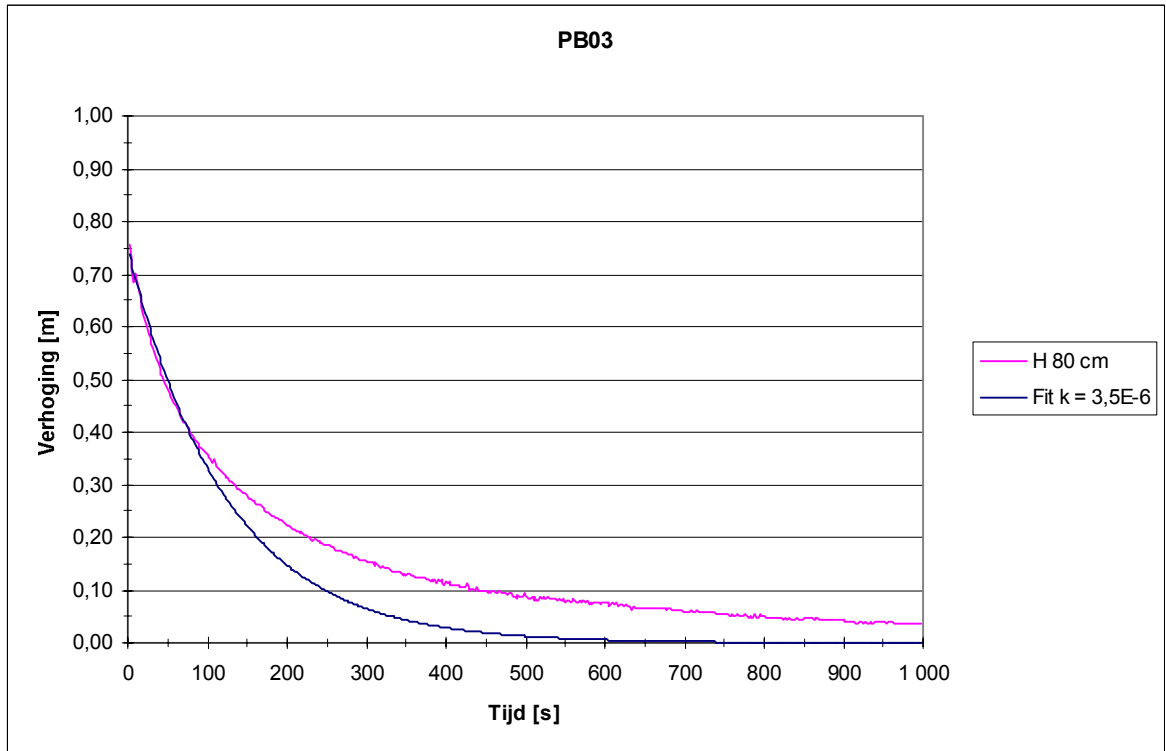




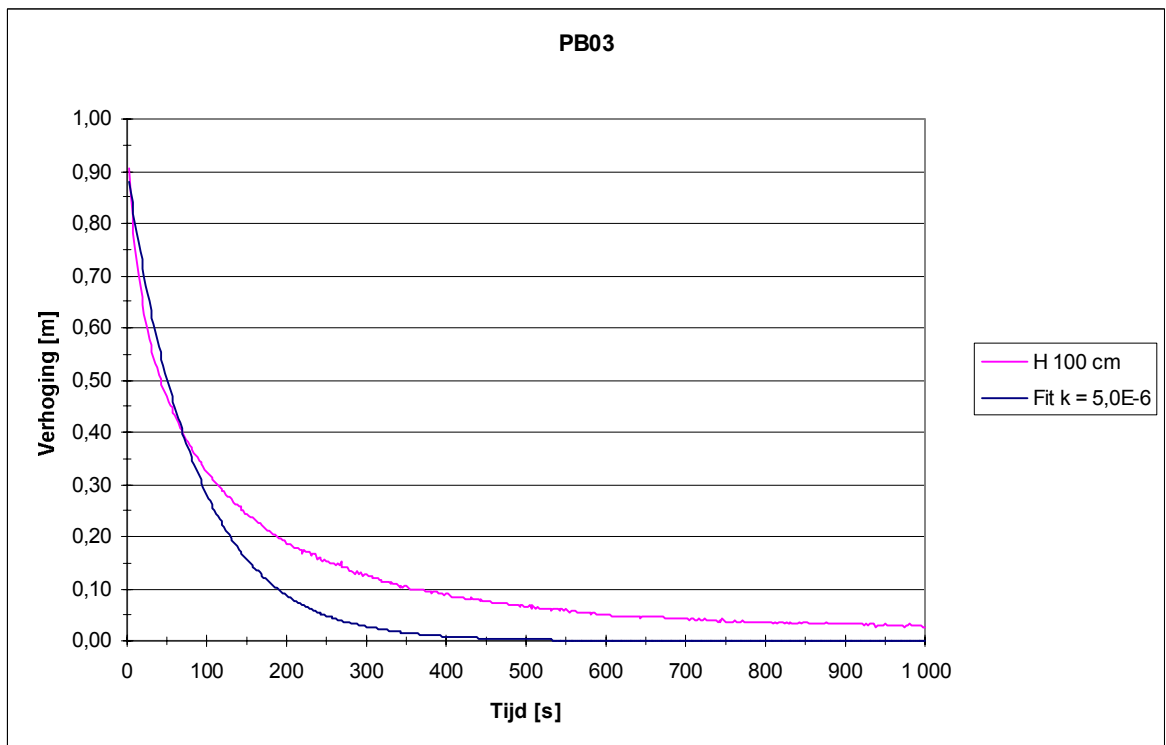
Figuur 12 Uitwerking doorlatendheidsmeting peilbuis 3 proef H=30 cm



Figuur 13 Uitwerking doorlatendheidsmeting peilbuis 3 proef H=50 cm



Figuur 14 Uitwerking doorlatendheidsmeting peilbuis 3 proef H=80 cm



Figuur 15 Uitwerking doorlatendheidsmeting peilbuis 3 proef H=100 cm

## **M Geologie**

## **Geologie en veenbeschrijvingen nabij Uitdam**

**Onderdeel van het project 'Veenproef Markermeerdijken ten  
behoefte van het HWBP'**

dr. G. Erkens  
dr. G. van Wirdum  
dr. A.P. Wiersma

1203768-016



## Titel

Geologie en veenbeschrijvingen nabij Uitdam

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Waterdienst	1203768-016	1203768-016-GEO-0001	75

## Trefwoorden

veenclassificatie, compressie, Hollandveen, bezwijkproef, oligotroof

## Samenvatting

Er bestaat grote onduidelijkheid over de vraag hoe de sterkte van veen ten behoeve van de toetsing van bestaande waterkeringen moet worden bepaald en in berekeningen moet worden toegepast. Dit heeft geleid tot het onderzoeksprogramma Dijken op Veen. Veldproeven spelen een belangrijke rol in het onderzoeksprogramma. Aansluitend bij dit onderzoek is een uitgebreid laboratorium- en veldonderzoek uitgevoerd. Bij het beter begrijpen van het gedrag van veen is geologische en botanische achtergronden onmisbaar. Dit rapport bevat de kennis die binnen dit project verzameld is over de opbouw van de ondergrond rondom de proeflocatie.

Geologische kennis is op een aantal verschillende ruimtelijke schalen ingezet bij het beantwoorden van vragen die bij de resultaten van de praktijkproeven opkwamen. Deze vragen gaan allemaal over de variatie (heterogeniteit) van de ondergrond en de mogelijke invloed hiervan op de uitkomsten van de proeven. Op de kleinste schaal in dit rapport is bepaald hoe de monsters, waarop in het laboratorium geotechnische testen zijn gedaan geologisch gezien gegroepeerd en beschreven kunnen worden. Daarnaast is op de schaal van het proefperceel de geologische opeenvolging en de variatie hierin bepaald. Op de grootste schaal is bekeken in hoeverre de ondergrond in het proefperceel bij Uitdam vergelijkbaar is met de ondergrond langs het dijktraject Amsterdam-Hoorn.

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden zijn verschillende veldbezoeken afgelegd, waarbij de ondergrond in kaart is gebracht doormiddel van handboringen en inspectiesleuven. Daarnaast is er in het laboratorium op bijna honderd monsters een veenclassificatie uitgevoerd, waarbij niet alleen de samenstelling, maar ook eigenschappen zoals de textuur, gelaagdheid, amorfiteit en vezeligheid bepaald zijn. Dit is ook gedaan voor twee boringen op andere plekken langs het dijktraject Hoorn-Amsterdam. Als laatste is met behulp van bestaande boringen uit de database van de Geologische Dienst Nederland en literatuur de regionale geologie rondom het proefperceel en langs het dijktraject Hoorn-Amsterdam beschreven.

Uit de geologische kartering en monsterclassificatie bleek dat het proefperceel bij Uitdam een klassieke Holocene kustvlakte opeenvolging heeft met aan de basis dekzand (-11 m NAP), daarbovenop basisveen, afzettingen van het Laagpakket van Wormer (kleien en zavel), Hollandveen en tenslotte een Zuiderzee kleidek aan het maaiveld. In het Hollandveen bij Uitdam komen alle veensoorten voor die in Nederland worden onderscheiden, zowel eutrofe soorten (riet), als mesotrofe (zegge) en oligotrofe soorten (veenmos, heide, wollegras) zijn aangetroffen. Uiteindelijk kon de bovenste 5 meter van het de ondergrond (daar waar bezwijken plaats vond) onderverdeeld worden in 6 verschillende stratigrafische pakketten.

Er is geen duidelijke relatie gevonden tussen verschillende veensoorten en het bezwijken van de grond onder de containers. De verticale scheuren en breuken gaan dwars door de veenpakketten heen, en de horizontale scheuren zitten in het zeggeveenpakket en niet in de onderliggende kleiige venen en kleien of op de grenzen van verschillende grondsoorten.

**Titel**

Geologie en veenbeschrijvingen nabij Uitdam

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat Waterdienst	1203768-016	1203768-016-GEO-0001	75

Met behulp van de beschreven boringen kon de compressie van de ondergrond onder de Markermeerdijk bepaald worden. De grootste compressie is terug te vinden in het veenpakket, waarbij de totale compressie tussen de 4 en 5 meter bedraagt.

Het traject van de Markermeerdijk tussen Amsterdam en Hoorn loopt over een groot deel in het zuiden door een gebied dat qua opbouw van de ondergrond op het proefperceel lijkt. Meer naar het noorden toe neemt de invloed van het Zeegat van Bergen toe en wordt de ondergrond steeds minder veenrijk.

De belangrijkste aanbeveling van dit onderzoek is dat er een uitgebreidere studie moet worden gemaakt naar de opbouw van het veenpakket elders langs het dijktraject Amsterdam-Hoorn. Daarnaast leverde dit onderzoek een unieke database op met monsters waarop zowel geologische als geotechnische classificaties en bepalingen zijn gedaan. Het is een sterke aanbeveling om met deze dataset correlaties te maken tussen geotechnisch gedrag van de grond en de samenstelling. Na het vaststellen van dergelijke correlaties kan de database aan de ene kant helpen bij het verklaren van het waargenomen geotechnisch gedrag van de gemeten monsters, en aan de andere kant kan dit een dataset opleveren van sterkteparameters per grondsoort of veenklasse. Met dit laatste kunnen betrouwbare interpretaties en voorspellingen gedaan worden over de sterkte van de ondergrond op basis van geologische informatie waar gedetailleerde geomechanische gegevens vooralsnog niet voorhanden zijn.

<b>Versie</b>	<b>Datum</b>	<b>Auteur</b>	<b>Paraaf</b>	<b>Review</b>	<b>Paraaf</b>	<b>Goedkeuring</b>	<b>Paraaf</b>
	aug. 2012	Dr. G. Erkens		Drs. G. de Lange		Ir. L. Voogt	
		Dr. G. van Wirdum		Dr.ir. C. Zwanenburg			
		Dr. A.P. Wiersma					

**Status**

concept

Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Aanleiding	1
1.2	Vraagstellingen	2
1.3	Onderzoeksvragen	2
1.4	Leeswijzer	2
<b>2</b>	<b>Aanpak</b>	<b>3</b>
2.1	Geologische opbouw van het proefperceel	3
2.2	Classificaties geotechnische proefmonsters	4
2.3	Opschaling naar dijktraject	6
<b>3</b>	<b>De opbouw van het veenpakket nabij Uitdam</b>	<b>7</b>
3.1	De geologie van het proefperceel en de regionale geologische setting	7
3.2	Vergelijking met geotechnische profielen in het proefperceel	17
3.3	Nadere beschrijvingen van het veenpakket in de inspectiesleuven in het proefperceel Uitdam	19
<b>4</b>	<b>Beschrijving van proevenmonsters</b>	<b>25</b>
4.1	Inleiding	25
4.2	Veensoorten aangetroffen bij Uitdam	27
4.3	Botanische veensoorten	28
4.3.1	Inleiding	28
4.3.2	Eutroof en oligotroof veen	29
4.3.3	De successie in het Uitdamse Hollandveen	29
4.4	In de monsters van Uitdam herkende botanische veensoorten	31
4.4.1	Inleiding	31
4.4.2	Eutroof en mesotroof veen	34
4.4.3	Oligotroof veen	34
4.4.4	Overige veensoorten	35
4.5	Opvallende plantensoorten in het veen	36
4.6	Consistentie en amorfiteit	39
4.7	Macroresten en pollen	41
4.8	Vezelgehalte (vezeligheid)	41
4.9	Beschrijving van de onderscheiden typen	42
<b>5</b>	<b>Opschaling naar dijktraject</b>	<b>57</b>
5.1	Beschrijvingen Kruinboringen Uitdam en Kinselmeer	57
5.2	Compactie onder de dijk	63
5.3	Overige dwarsprofielen langs het dijktraject Amsterdam-Hoorn	65
5.3.1	Locatie Hoorn (20/34)	66
5.3.2	Locatie Warder (23/64)	66
5.3.3	Locatie Uitdam-Jachthaven (28/63)	67
<b>6</b>	<b>Conclusies</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>71</b>



<b>8 Referentielijst</b>	<b>73</b>
<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A Exceltabel met veenclassificaties</b>	<b>A-1</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en de Waterdienst van Rijkswaterstaat hebben het voornemen de beschrijving van het sterktegedrag van veen voor het toetsen van de stabiliteit van waterkeringen te verbeteren. Dit heeft geresulteerd in het onderzoeksproject 'Dijken op veen'.

In het verleden werd de sterkte van grond, ten behoeve van de toetsing van de stabiliteit van waterkeringen, bepaald met behulp van de celproef. Enige jaren geleden is consensus ontstaan over het feit dat de celproef geen goede proef is voor het bepalen van de sterkte van grond. Tot op dit moment is er nog geen algemeen geaccepteerde vervanging voor de celproef. De controverse over de parameter bepaling is het grootst voor de sterkte eigenschappen van veen en sterk humeuze klei. De onduidelijkheid over de parameterbepaling zorgt onder andere voor vertraging van dijkversterkingsprojecten. Een mogelijke wijziging in parameterbepaling op korte termijn zou dan tot gevolg hebben dat recent versterkte dijken of overgedimensioneerd zijn of opnieuw worden afgekeurd. Voor de Waterdienst van Rijkswaterstaat is het van belang dat er duidelijkheid komt in de wijze waarop de sterkte eigenschappen van veen bepaald dienen te worden.

Het hierboven geschetste probleem doet zich onder andere voor bij de Markermeerdijk. Het traject Amsterdam Noord – Hoorn is afgekeurd en dient versterkt te worden. Het versterkingsontwerp heeft geresulteerd in lange stabiliteitsbermen. Langs het traject zijn enkele historische dorpskernen gelegen waar een dergelijke stabiliteitsberm lastig in te passen is. Het afkeuren van de huidige dijk en het relatief zware ontwerp van de dijkversterking is opmerkelijk omdat de waterkering in het recente verleden een Zuiderzeedijk is geweest en toen hogere waterstanden heeft gekeerd dan het huidige maatgevend hoogwater. Opgemerkt wordt dat de hoge waterstanden uit het verleden slechts kortdurend optraden, terwijl de huidige randvoorwaarden uitgaan van een langdurige maatgevend hoogwater. Voor het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier is het belangrijk meer inzicht in het gedrag van het dijklichaam en ondergrond te krijgen zodat waar mogelijk de dijkversterking kan worden geoptimaliseerd. Deze optimalisatie leidt niet alleen tot kostenbesparing, maar maakt ook de omwonenden duidelijk dat alles is gedaan om het landschap te sparen terwijl toch het geëiste veiligheidsniveau is gegarandeerd.

Onderdeel van het onderzoek is de uitvoering van enkele veldproeven op een binnendijks terrein. Door het opwekken van een glijvlak door de veenlaag kan de maximale schuifweerstand van het veen in het veld worden bepaald. Deze veldwaarde van de sterkte kan vervolgens worden vergeleken met de conventionele laboratoriumproeven. Aan de hand van deze vergelijking wordt vastgesteld welke werkwijze, gebaseerd op thans beschikbare laboratoriumproeven en rekenmodellen, de sterkte van veen het best wordt benaderd. In een vervolgfase zal worden gewerkt aan nieuwe materiaalmodellen voor het beschrijven van het gedrag van veen en worden deze modellen ingepast in de veiligheidsfilosofie.

Bij het beter begrijpen van het gedrag van veen is inzicht in de geologische geschiedenis en de botanische achtergronden onmisbaar. In dit rapport wordt nader ingegaan op de geologie en de botanische achtergronden van het veen ter plaatse van het proefveld.

## 1.2 Vraagstellingen

Geologische kennis is op een aantal verschillende ruimtelijke schalen ingezet bij het beantwoorden van vragen die bij de resultaten van de praktijkproeven opkwamen. Deze vragen gaan allemaal over de variatie (heterogeniteit) van de ondergrond en de mogelijke invloed hiervan op de uitkomsten van de proeven.

In dit rapport betreft het op de kleinste schaal de karakteristieken van de grondmonsters die gebruikt zijn voor de sterkte bepalingen in het laboratorium. Zo is het grondmechanisch gedrag van organische gronden (organische klei, veen) deels afhankelijk van de vezeligheid van de grond (Den Haan, 1987; Venmans et al., 1989). Uit de tientallen monsters die gemeten zijn in het laboratorium komen daarom individuele sterktes en grondmechanische parameters. Om in deze dataset toch structuur aan te brengen en de monsters te groeperen, zijn van dezelfde monsters ook de grondsoort (veentype, samenstelling, textuur) en aanverwante karakteristieken (parameters zoals organisch stof gehalte, interne gelaagdheid, vezeligheid, consistentie en verweringsgraad) nauwkeurig beschreven. Dit maakt het mogelijk de monsters op basis van grondsamenstelling in te delen, waarna correlaties kunnen worden gemaakt tussen de gemeten sterkte parameters en de beschreven grondkarakteristieken.

Op een grotere schaal zijn er veldproeven uitgevoerd nabij Uitdam, langs de Markermeerdijk. In totaal zijn er vier bezwijkproeven afgerond. Een nauwkeurige beschrijving van de grond en de aanwijzingen voor het bezwijken is te vinden in Zwanenburg (2012, Dijken op Veen – analyse veldproeven, rapportnummer 1203768-012-GEO-0004, bijlage B). De vraag daarbij is of de opbouw van de ondergrond niet dusdanig heterogeen is dat de onderlinge testlocaties niet goed vergelijkbaar zijn. Daarom is het perceel geologisch onderzocht, waarbij voornamelijk is gekeken op de plekken van de bezwijkproeven. De geologische beschrijvingen van de ondergrond helpen bij het verklaren van het waargenomen bezwijkgedrag.

Op de grootste schaal worden de resultaten van de proeven bij Uitdam gebruikt om de sterkte van de dijk langs het gehele traject Amsterdam-Hoorn te herzien. Gezien de lengte van het dijktraject is het de vraag of de opbouw van de ondergrond op verschillende plekken langs de dijk vergelijkbaar is met het proefperceel bij Uitdam. Daarom is de geologische opbouw van het proefperceel vergeleken met de regionale geologische setting van het gebied, waarmee is bepaald in hoeverre het proefperceel karakteristiek is voor een groter gebied.

## 1.3 Onderzoeksvragen

Gebaseerd op de bovenstaande vragen die bij de veenproef Markermeerdijk opkwamen zijn er drie geologische onderzoeksvragen opgesteld:

- Wat is de geologische opeenvolging in het proefperceel en hoe varieert deze opeenvolging?
- Hoe kunnen de testmonsters geologisch gezien gegroepeerd en beschreven worden?
- In hoeverre is de ondergrond bij Uitdam vergelijkbaar met de ondergrond langs het dijktraject Amsterdam-Hoorn?

## 1.4 Leeswijzer

In dit rapport worden deze onderwerpen achtereenvolgens besproken. De bespreking wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen, waarin ook een visie gegeven wordt op de wijze waarop het geologisch en geotechnisch onderzoek elkaar kunnen versterken, mede met het oog op opschaling van de resultaten van het proefveldonderzoek naar het dijktraject.

## 2 Aanpak

Dit deelonderzoek beantwoord drie onderzoeksvragen (zie paragraaf 1.3):

- Wat is de geologische opeenvolging in het proefperceel en hoe varieert deze opeenvolging?
- Hoe kunnen de testmonsters geologisch gezien gegroepeerd en beschreven worden?
- In hoeverre is de ondergrond bij Uitdam vergelijkbaar met de ondergrond langs het dijktraject Amsterdam-Hoorn?

Het verkrijgen van de benodigde data voor het beantwoorden van deze drie onderzoeksvragen is op zie verschillende manieren aangepakt.

### 2.1 Geologische opbouw van het proefperceel

Voor het beschrijven van de geologische opeenvolging in het proefperceel is met een handboor een kartering uitgevoerd. De boringen zijn in het veld beschreven en geclassificeerd volgens de Standaard BoorBeschrijving SBB (Bosch, 2000), waarbij speciale aandacht is besteed aan de opbouw van het veenpakket. De boringen zijn ca 5.5 diep, waarbij 1 boring tot in het Pleistocene zand is gezet (ca 10 meter). In de uitwerking is gebruik gemaakt van informatie over de opbouw van het veenpakket uit de literatuur en oudere boringen uit de DINO (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) database.

Daarnaast zijn er na het afronden van de proeven een aantal tijdelijke inspectiesleuven gegraven ter plaatse van de containerproeven. Deze inspectiesleuven (Figuur 2.1) hadden een diepte van ca. 2.5 tot 3.4 meter (breedte ca 1.6 meter, lengte ca 2.5 m) en werden drooggemalen met een pomp. Voor de exacte locatie van de inspectiesleuven ten opzichte van de containers in de verschillende proeven wordt verwezen naar Zwanenbrug (2012; in bijlage rapporten 'overzicht beschrijving ondergrond' door Gerard Kruse). In de inspectiesleuven is een nauwkeurige beschrijving gemaakt van het veenpakket, waarbij speciaal naar de botanische samenstelling is gekeken. Ook de aanwezige kleilagen zijn in detail bekeken, waarbij voornamelijk de overgang tussen veen en klei (en vice versa) is bestudeerd. Als laatste is er gelet op aanwijzingen voor het bezwijken van de grond (breuk en scheurvorming, glijvlakken, etc.) en de resultaten daarvan worden beschreven in Zwanenbrug (2012).

Figuur 2.1 een inspectiesleuf na de bezwijkproef



## 2.2 Classificaties geotechnische proefmonsters

In het proefperceel zijn 20 Begemann boringen (diameter 66 mm) uitgevoerd, waarbij elke boring is opgedeeld in meterstukken en gefotografeerd. De meterstukken zijn vervolgens in stukken van 20 cm gesneden voor de laboratoriumanalyses. Voor de laboratoriumanalyses worden variabele monsterhoogtes toegepast: 12 cm voor triaxiaalproeven en 2 cm voor samendrukkingsproeven. Uiteindelijk is op een set van 87 grote monsters verschillende geotechnische proeven gedaan (De Bruin et al., 2012).). Deze monsters zijn vervolgens geologisch beschreven volgens de twee in Nederland meest gangbare beschrijvingsvoorschriften voor veen, namelijk Geotechnische Classificatie Veen (GCV; TAW, 1996) met een geotechnische invalshoek en SBB (Bosch, 2000) - compatibel met de NEN-classificatie – met een geologische invalshoek. Met deze beschrijvingen kunnen de monsters worden gegroepeerd op geologische gronden, waarmee de geotechnische waarnemingen beter verklaard kunnen worden. Hierbij kan gedacht worden aan het zoeken van een verklaring voor uitschieter in de metingen of het meewegen van de stratigrafische positie (en daarmee de begravingsgeschiedenis) van de monsters. Deze werkwijze betekende ook dat de geologische classificaties uitgevoerd moesten worden op monsters die al geotechnisch beproefd waren. Omdat van deze monsters de conditie van het veen het niet altijd toeliet een bevredigende classificatie te verkrijgen, zijn een aantal monsters ook microscopisch geanalyseerd. Gezien de aard van de monsters en het doel van de beschrijving had het onderzoek een enigszins experimenteel karakter. Verschillende problemen die aan de beschrijvingsmethoden en de gehanteerde classificaties voor veen kleven zijn binnen Deltares en TNO op het moment van schrijven onderwerp van discussie en onderzoek. Hierbij gaat het om de objectiviteit van de classificatie en de bruikbaarheid van de beschreven parameters.

De standaard parameters in de SBB voor veen die bepalend kunnen zijn voor de sterkte van de ondergrond zijn:

1. Veensoort, gebaseerd op macroresten herkenning. In de Standaard BoorBeschrijving worden acht soorten veen onderscheiden: rietveen, zeggeveen, bosveen, mosveen, veenmosveen, heideveen, Scheuchzeriaveen, wollegrasveen. De classificatie op macroresten en pollen van het monster onder de binoculair geeft een nauwkeuriger veenclassificatie. Uiteindelijk bleek de SBB veenclassificatie op basis van macroresten nauwkeurig genoeg, omdat er geen behoefte was aan een verdere indeling dan de acht veensoorten. Daarnaast levert een classificatie met binoculair vooral een beter inzicht in de samenstelling van de fijnere matrix, maar de exacte samenstelling van de matrix lijkt weer minder belangrijk voor de sterkte van het veen dan de samenstelling van de vezels (Den Haan, 1987; Venmans et al., 1989). Alleen in twijfelgevallen zijn enkele kleine submonsters microscopisch geanalyseerd, waarbij botanische aspecten herkenbaar waren die tijdens de macro-analyse niet opgevallen waren, zoals het voorkomen van lok (resten van Eenarig wollegras). Sommige structurelementen, zoals wortelstokken van riet, kunnen in een klein monster al snel de indruk geven van rietveen, terwijl het toch niet de hoofdcomponent van het veen is. Hieraan is bij dit onderzoek extra aandacht aan besteed. In deze studie is de hoofdveensoort benoemd, en daarbij is aangegeven of andere plantensoorten een aanzienlijke bijdrage leveren (bijvoorbeeld: zeggeveen met galigaan). In het geval van niet-organische gronden is de grondsoort bepaald volgens de SBB (Bosch, 2000) en Universiteit Utrecht (Berendsen & Stouthamer, 2001) methode.
2. Bepaling van het organische stof-gehalte met Loss-On-Ignition (gloeiverlies). Ondanks dat LOI niet de meest optimale methode is voor het bepalen van organische stof (omdat er ook anorganisch materiaal kan verbranden) is deze methode toch gebruikt omdat de kosten laag zijn, en er makkelijk vergelijkingen kunnen worden gemaakt met analyses die in het verleden zijn gedaan. Organische stof gehalte wordt weergegeven als een percentage. In sommige gevallen is ook kalkgehalte bepaald (percentage).
3. Bepalingen consistentie (weerstand tegen vervorming) van de monsters, zoals beschreven in de standaard boorbeschrijving (SBB, Bosch, 2000). De schattingen van de consistentie van het monstermateriaal bleken echter nauwelijks informatie over de onverstoorde in-situ toestand op te leveren, gezien de verstoring van de monsters door de geotechnische proeven en verschillende mate van uitdrogen bij opslag. Er is wel een aangepaste analyse gedaan van de consistentie op de monsters, bestaande uit het breken en uit elkaar trekken van twee helften van het monsters. Hierbij werd gelet op de mate van het voel- en hoorbaar knappen of glijden van worteltjes en plantenresten. De beschrijving van de weerstand tegen vervorming heeft de volgende kwalitatieve indeling: 'de vezels dragen niet/nauwelijks/iets/'-/sterk bij aan de sterkte.'
4. Bepalingen van de amorfiteit (mate van humositeit) van de monsters, zoals beschreven in de standaard boorbeschrijving (SBB, Bosch, 2000). Voor die laatste geldt dat Von Post in 1916 een indeling voor humositeit heeft opgesteld (10-delige humositeitsschaal, zie Visscher, 1949). De humositeitsgraad van veen is de verhouding tussen het onveranderde plantaardige materiaal en het omgezette plantaardige materiaal, de bruinzwarte grondmassa zonder enige structuur. De amorfiteitsschaal in de SBB is een versimpeling van de Von Post indeling naar drie klassen. De amorfiteit van veen moet vers bepaald worden. Slechts van enkele aspecten ervan kan ook in al enige tijd aan de lucht bewaarde monsters nog een beeld verkregen worden. De uitgevoerde amorfiteit bepalingen op de bewaarde monsters is daarom van beperkte waarde. De amorfiteit bepalingen in het veld hebben hier minder last van, maar de geschiktheid van de standaardbepaling van de amorfiteit van veen is ook in andere opzichten voor het veen in de West-Nederlandse

ondergrond discutabel. Veel van dit veen ligt onder klastische lagen, heeft langdurig contact gehad met brak of zout water en is aangevuld met organisch materiaal uit wortelstelsels van jongere en andere levensgemeenschappen. De amorfiteit ontwikkelt zich daardoor ten dele anders dan in boven de regionale grondwaterspiegel gelegen oppervlakteveen. Een schatting is nog wel mogelijk, maar hierbij moet vooral afgegaan worden op het oog. Hierbij gaat het om het aandeel van het monster dat direct als worteltjes, wortelstokken, stengels en bladen te herkennen is tegenover de amorf matrix, die als maat dient bij het bepalen van de mate van vergaan zijn. Daarnaast is gekeken naar de kleur van het uitgeperste water (humificatie-graad). De gebruikte (kwalitatieve) klassen in deze studie zijn: zwak/matig/sterk amorf.

Naast de classificatie op veensoort, consistentie, en amorfiteit zoals die voorkomt in de SBB is er ook gekeken welke eigenschappen van organische grondsoorten nog meer correlaties met het grondmechanisch gedrag zouden kunnen geven. Voor dit rapport zijn twee mogelijke extra eigenschappen onderzocht: i) vezeligheid en ii) structuur van de grond. Na de eerste set monsterbeschrijvingen is geëvalueerd of deze extra analyses een toegevoegde waarde hadden.

Analyse van de vezeligheid van de macroresten in de monsters is geen analyse die standaard wordt uitgevoerd op grondmonsters bij geologische classificaties, maar de vezeligheid lijkt wel een factor van belang in de sterkte van veen (Den Haan, 1987; Venmans et al., 1989). De analysemethode hiervan is experimenteel. Een visuele schatting van het vezelgehalte moet eigenlijk ook steeds op vers materiaal gedaan worden. Voorgesteld was na te gaan of het vezelgehalte door zeven door een 5 mm zeef reproduceerbaar te bepalen is. Doordat veel monsters na geotechnische beproeving erg compact zijn, was het moeilijk om de monsters los te maken, zonder de vezels te beschadigen. Er is volstaan met een ruwe beschrijving op basis van visuele beoordeling, steekproefsgewijs ondersteunt door beoordeling van gewassen monstermateriaal op een 1mm zeef. De gebruikte (kwalitatieve) klassenindeling bestond uit: enkele vezels/zwak-/matig-/vezelig/sterk-vezelig.

Analyse van de structuur van de grond. Het vermoeden bestaat dat de structuur van de grond (inwendige kleilagen, vezeldichtheid, etc.) een belangrijke factor kan zijn in de sterkte van het veen. Voor zover aanwezig zijn opvallende structuurkenmerken, zoals gelaagdheid, interne breukvlakken en het voorkomen van kleilagen kwalitatief visueel beschreven. Gelaagdheid was vaak wel goed te herkennen in de wat meer klastische afzettingen. De gebruikte indeling voor gelaagdheid was: niet/nauwelijks/licht of zwak/gelaagd/sterk gelaagd.

### 2.3 Opschaling naar dijktraject

Op vijf locaties zijn Begemann boringen gezet langs het dijktraject Amsterdam – Hoorn. Per locatie zijn er boringen aan de binnenkant (landkant) van de dijk gezet, op de kruin van de dijk, en in de berm van de dijk. Van twee locaties, Uitdam-Dorp en Kinselmeer, zijn deze boringen beschreven, voor het grootste deel op basis van wat te zien was in een smalle, schoongeschrapte strook aan de buitenkant van de kern, maar in enkele gevallen zijn korte secties opengesneden en meer volledig beschreven. Deze beschrijvingen zijn vergeleken met de geologische opbouw van het proefperceel. Van de overige boringen is, gebaseerd op de regionale geologie, bepaald in welke mate de locatie mogelijk kan afwijken van het proefperceel bij Uitdam. Hierbij is ook gebruik gemaakt van de boorbeschrijvingen van de Geologische Dienst Nederland (TNO) aanwezig in de DINO database.

### **3 De opbouw van het veenpakket nabij Uitdam**

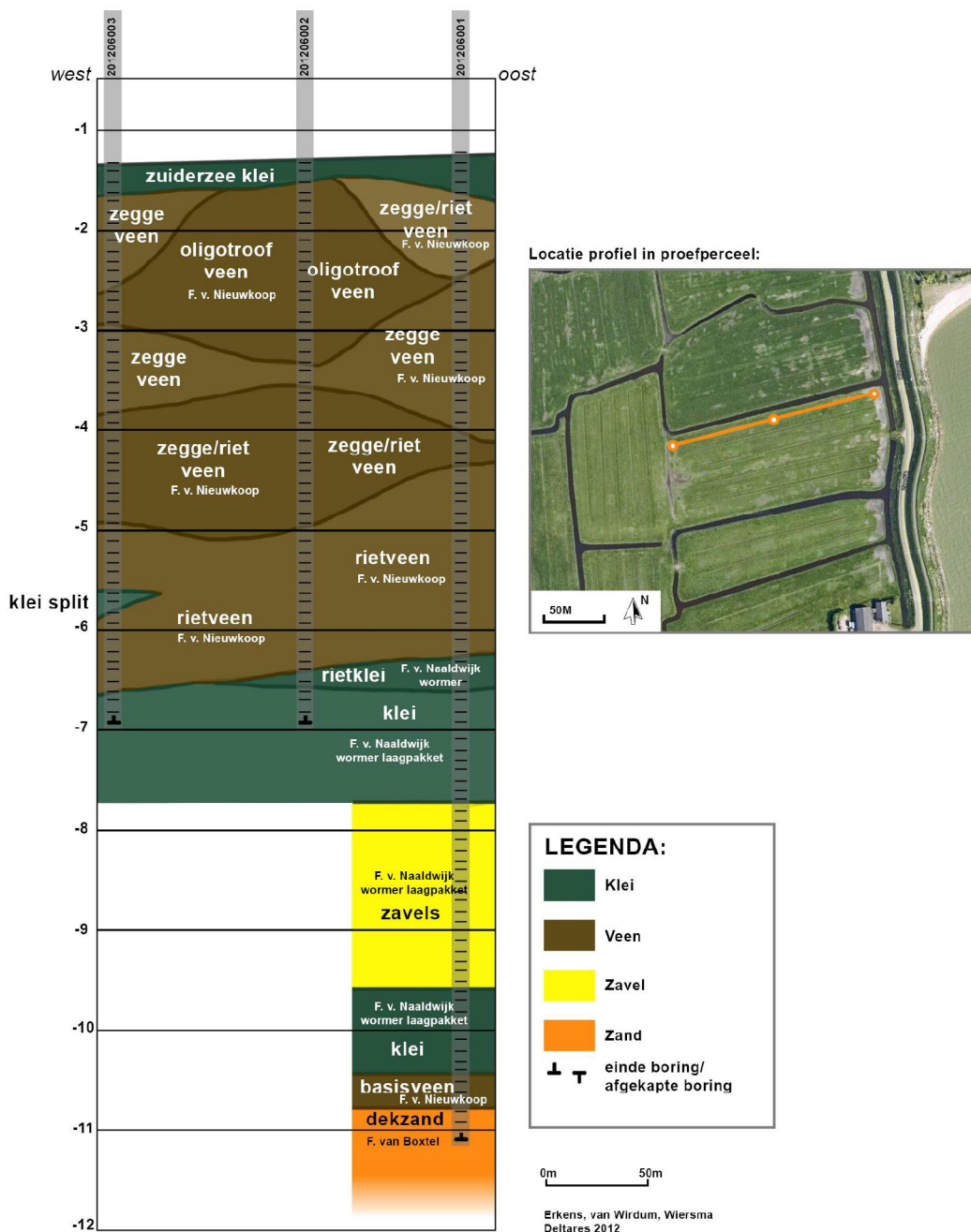
#### **3.1 De geologie van het proefperceel en de regionale geologische setting**

De geologische ontwikkeling en belangrijkste afzettingen die in het studiegebied voorkomen worden besproken in de studies van de Stichting voor Bodemkartering (1965), Pons & Van Oosten (1974), De Mulder et al. (2003) en Vos et al. (2011). Het beeld dat in deze publicaties wordt geschetst wordt in dit stuk vergeleken met de opeenvolging van de afzettingen zoals aangetroffen in de boringen, het profiel (Figuur 3.1) en de inspectiesleuven.



**Figuur 3.1** Oost-west profiel over het proefperceel bij Uitdam, gebaseerd op handboringen.

**Profiel proefperceel Uitdam  
Mei 2012**



De opeenvolging zoals aangetroffen in het proefperceel bestaat van onder naar boven uit:

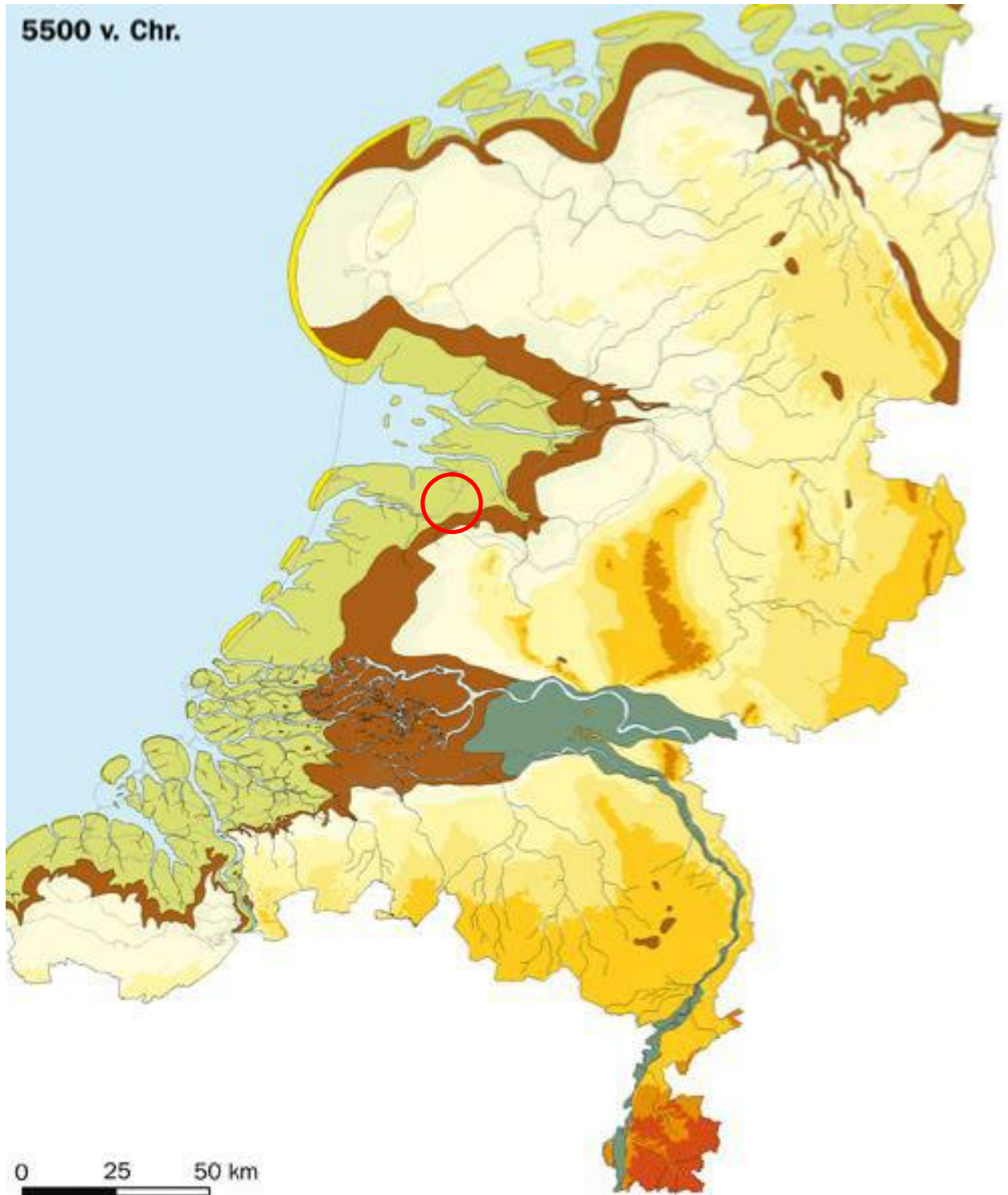
- Zand, dat bij Uitdam ca. 11 m beneden NAP ligt (Figuur 3.1). Dit pakket bestaat uit matig grof (210-300  $\mu\text{m}$ ) redelijk gesorteerd zand en is gelig van kleur. Het is kalkloos. Gebaseerd op de fijne korrelgrootte en de sortering wordt het zand

geïnterpreteerd als dekzand, waarmee het behoort tot het Laagpakket van Wierden in de Formatie van Boxtel (cf. Westerhoff et al., 2003), oude benaming is Formatie van Twente). Het is afgezet onder periglaciaal omstandigheden tijdens het laatste glaciaal (het Weichsel glaciaal). Een voorzichtige ouderdomsschatting brengt de leeftijd van deze afzettingen op 20-14 ka (kilo-annum = 1000 jaar) BP (before present = voor heden), maar jonger is ook mogelijk. In het zand is een bodem gevormd, met een duidelijke A-horizont (een horizont met kenmerkende accumulatie van gehumificeerd organisch materiaal), een uitspoelingshorizont en een inspoelingshorizont. De bodemvorming volgt op de afzetting van het dekzand en kan hebben plaats gevonden tijdens het Laat-Glaciaal (14.5-11.7 ka BP) en/of het vroeg-Holocene (11.7- ~9.0 ka BP). Opvallend is dat de bodem geen natte kenmerken heeft, maar eerder droge/goed gedraineerde kenmerken (goed ontwikkelde horizonten), wat het gevolg kan zijn van een relatief hoge ligging in het (toenmalige) landschap. Het dekzand is een zeer veel voorkomend pakket in West-Nederland en komt ook onder grote delen van de Markermeerdijk voor. Ten noorden van Edam ligt het aanzienlijk dieper, tot minus 16 meter NAP. Dit gebied is onderdeel van het begraven Overijsselse Vechtdal dat dwars door Noord-Holland snijdt. Lokaal doorsnijden rivierlopen (voormalige Rijnlopen) en lokale beeklopen hier het dekzandlandschap.

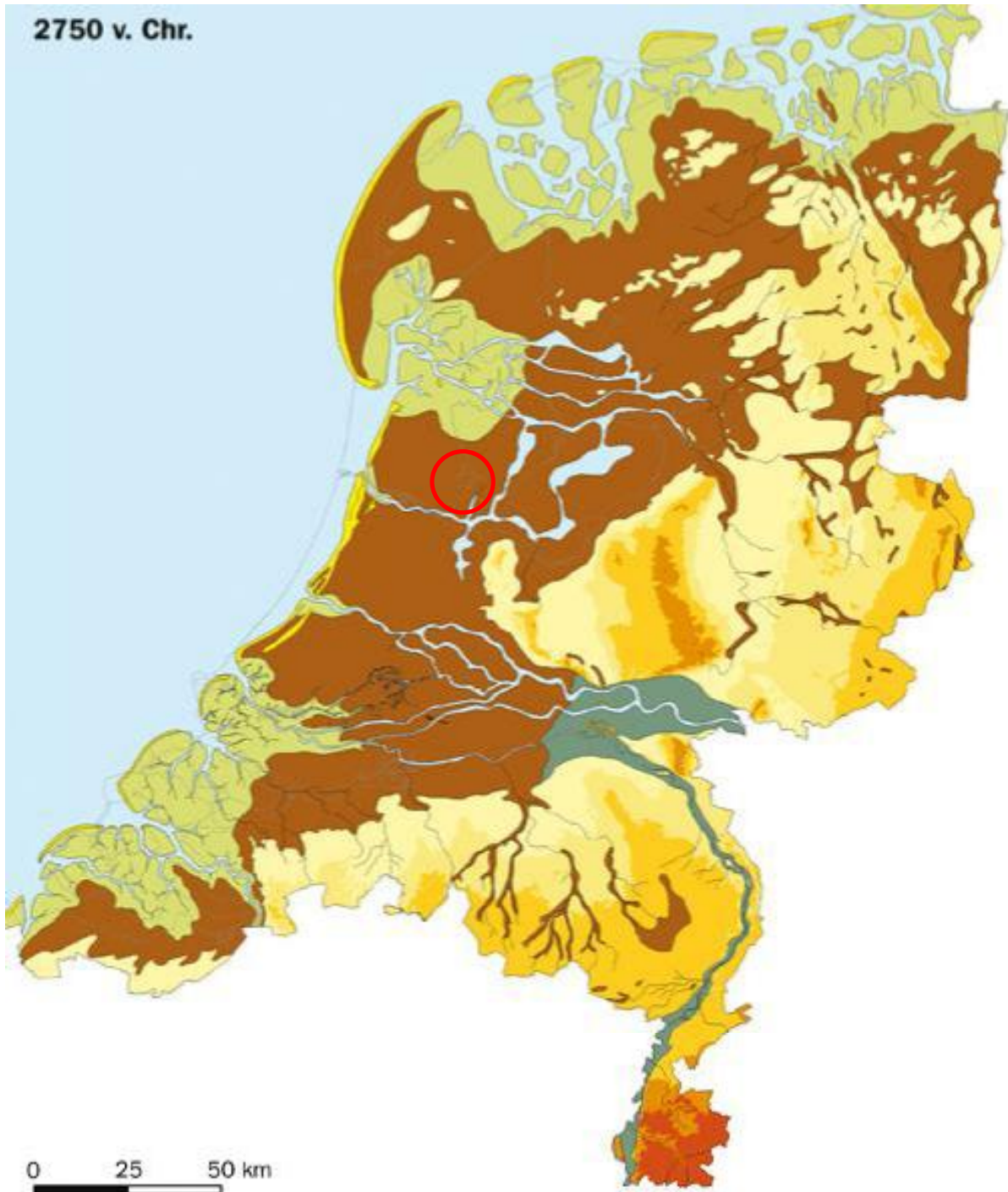
- Direct op het zand ligt een veenpakket dat ca. 30 cm dik is. Het is een gecompecteerd rietveen, met houtresten. Op basis van stratigrafische positie wordt deze laag gerekend tot de Formatie van Nieuwkoop (voormalige Broek formatie), Basisveen Laag (DINO-codering: NIBA). Deze laag vertoont onder invloed van de oorspronkelijke hoogteligging en latere erosie grote verschillen in aard en dikte. Als gevolg van de stijgende grondwaterstanden is het dekzand verdrongen, waarna veen zich kon gaan vormen. De stijgende grondwaterstanden zijn het gevolg van de relatieve zeespiegelstijging die plaats vindt in het Laat Pleniglaciaal, Laat Glaciaal en Holocene. De Basisveen Laag vormt de basis van de Holocene aggraderende kust-/rivierafzettingen, en markeert het moment van verdrinking. Het moment van verdrinking en daarmee het begin van de veenvorming hangt sterk af van de hoogte van het dekzandoppervlak. Gezien het feit dat de top van het dekzand hier vrij hoog ligt, begint het veen waarschijnlijk relatief laat in het vroeg-Holocene te vormen, ergens tussen 9 ka en 7.5 ka BP, met een meest waarschijnlijke schatting van 8.0 ka BP. Het basisveen komt in heel Noord-Holland voor, met uitzondering van de plekken waar stromend water was op het moment van vorming (in begraven beekdalen en rivierdalen), of waar het later door erosie weer is verwijderd. In de begraven dalen van de Overijsselse Vecht zijn in deze periode brakke lagunaire kleien afgezet (Vos et al., 2011).
- Het basisveen wordt non-erosief afgedekt door een pakket grijze kleien en zavel. De stratigrafische positie van deze afzettingen (boven op het basisveen), de lokaal sterke gelaagdheid van de kleien (duidt op invloed van getijdenbewegingen) en het voorkomen van schelpresten leidt tot de interpretatie dat dit klastisch pakket hoort bij de Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer (NAWO). In de oude indeling waren dit de afzettingen van Calais en vaak worden ze ook aangeduid als de oude (blauwe) zeeklei. Typerend voor het pakket zijn de aanwezige coarsening- en fining-upward sequenties. De kleien direct op het basisveen zijn zand- en silt-arm (zwarte kleien) en zijn humeus. Dit duidt op een langzame toename van de hoeveelheid

sediment in het veengebied door overstromingen, totdat het onderdeel wordt van een getijdengebied. De humeuze kleien worden steeds minder humeus naar boven toe en worden steeds zandiger (tot matig zware klei). Vanaf minus 9.5 meter NAP (Figuur 3.1) gaan de kleien over in zavels (een zand-klei-silt mengsel) met lichte kleinstjes (zandige klei). Deze coarsening-upward sequentie, waarbij de pakketten steeds afgedekt worden door grovere afzettingen, duidt op een (relatieve) positie verandering van de locatie in het getijdenbekken naar hoog-energetische milieus. Mogelijk hebben geulen of krekken zich gevormd of verlegd meer in de richting van het studiegebied, of heeft het getijdengebied zich uitgebreid. Rond -7.7 m NAP gaan de zavels naar boven toe over in lichte (zandige) kleien, die naar boven toe humeus worden. In gebieden met maar een beperkte ontwatering kan de klei zeer slap zijn en dit is ook waargenomen in het proefperceel bij Uitdam. De top (10-40 cm) van het pakket wordt gevormd door 'rietkleien' kleien met zeer veel rietresten, deels doorworteld, deels platig afgezet. Deze kleien zijn matig zware kleien, en door de rietresten humeus. De opeenvolging van zavels naar lichte kleien naar rietkleien is een fining-upward en duidt op afnemende energetische condities, gerelateerd aan het sluiten van de Nederlandse kust en de achterliggende Wormer getijdenbekkens. De Wormer getijdenbekkens ontstaan als gevolg van de doorgaande stijging van de (relatieve) zeespiegel gedurende het vroeg Holoceen. Achter lage strandwallen ontstaat een wadden-achtig gebied, wat door de snel stijgende zeespiegel grotendeels onder water staat. Rond 7.5 ka BP zijn de getijdenbekkens gevormd (Figuur 3.2). Het gebied rondom Uitdam bevindt zich aan de distale kant van dit systeem, relatief ver weg van de bron van het sediment: de Noordzee en het zeegat van Bergen. Dit verklaart de relatief fijne (geen zandige afzettingen) invulling. Vanaf ca 5500 BP (Vos et al., 2011) neemt de uitbreiding van de getijdenbekkens af en begint – onder condities van afnemende zeespiegelstijging - de Hollandse kust zich te sluiten. Geleidelijk verzoeten de getijdenbekkens en neemt de sedimentatie af. Deze trend is te zien als de fining-upward in het Laagpakket van Wormer in het profiel (Figuur 3.1). De klastische afzettingen van het Laagpakket van Wormer komen in heel Noord-Holland voor, maar zijn lokaal veel grover dan diegene die in het proefperceel zijn aangetroffen. Ten noorden van Edam, in het voormalige Overijsselse Vechtdal, en in het Zeegat van Bergen zijn onder condities met hogere stroomsnelheden in geulen dikke zandpakketten afgezet. Lokaal kunnen deze geulen ook het onderliggende basisveen en delen van het Pleistocene dekzand hebben geërodeerd.

*Figuur 3.2 De palaeogeografie van Nederland ongeveer 7.5 ka BP (Vos et al., 2011). Het studiegebied is aangegeven met een rode cirkel. In het getijdenbekken worden getijdenkleien afgezet die nu tussen de -6.5 en -10 meter NAP liggen.*



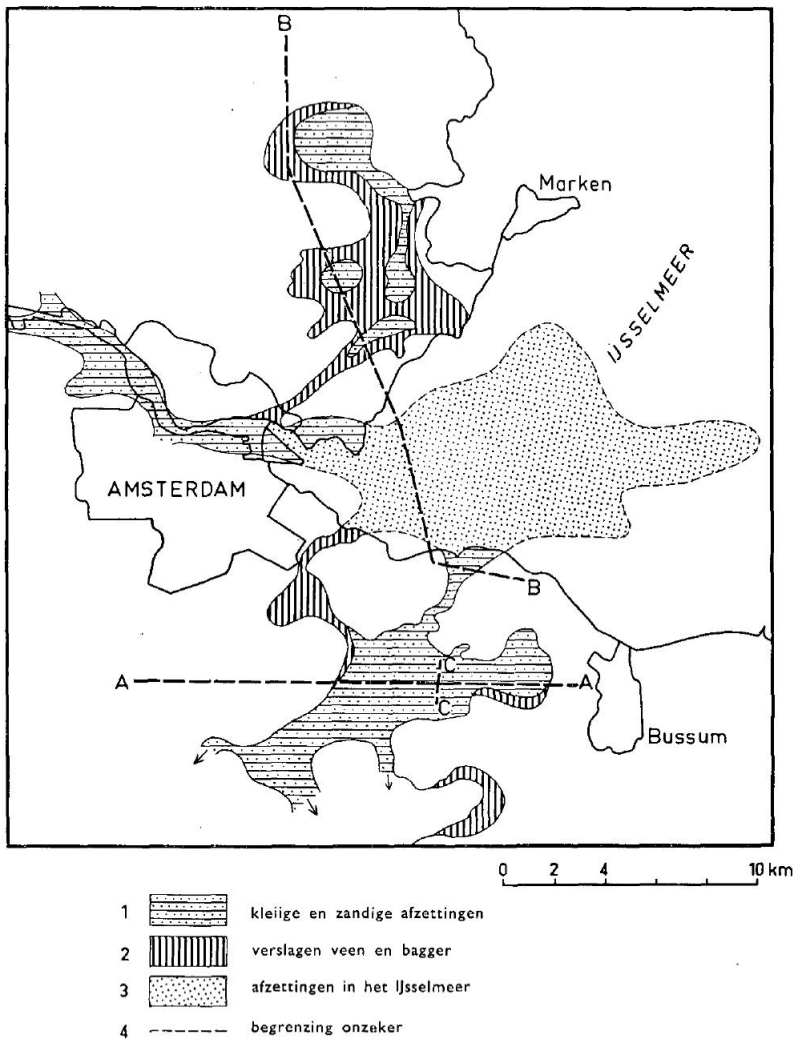
*Figuur 3.3 De fase van grootschalige veenvorming in Nederland, nadat de kust is gesloten (Vos et al., 2011). Het studiegebied is aangegeven met de rode cirkel.*



- Op de rietkleien ligt een pakket veen tussen de -1.7 meter NAP en de -6.5 meter NAP. Het zijn mineraalarme venen, met af en toe een kleilaagje (zie ook hieronder). Gezien de dikte van het pakket en de superpositie ten opzichte van de getijdenkleien, worden deze venen geïnterpreteerd als de Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen

Laagpakket (NIHO). De samenstelling van het veenpakket wordt in de volgende hoofdstukken nauwkeuriger beschreven, maar de grootschalige opeenvolging laat kenmerken zien van een toenemende voedselarmheid. De onderste pakketten zijn eutrofe (voedselrijke) rietvenen, maar naar boven toe komen steeds meer zeggesoorten voor, en boven de ca -3.7 m NAP domineert zegge (zeggeveen, zie ook Figuur 3.1). Het zeggeveen is gevormd onder minder voedselrijke omstandigheden dan de rietvenen, en behoort tot de mesotrofe venen. Op het zeggeveen ligt een pakket veenmos/heide/wollegrasveen, dat op voedselarme (oligotrofe) condities duidt. Een ontwikkeling van een eutrofe naar een mesotrofe en tenslotte oligotrofe plantenassemblage is een veel voorkomende veensuccessie die duidt op een opgroeiend veenpakket van een verlandend meertje naar een veenkoepel. Dit is ook gebeurd in het proefperceel bij Uitdam, hoewel lokaal (in de oostelijke en westelijke hoek van het perceel, zie Figuur 3.1) de oligotrofe fase dun is, of zelfs ontbreekt. Om te bepalen of deze veensuccessie ook buiten het proefperceel aanwezig is, is in de DINO-database een goed beschreven boring opgezocht. Deze boring (B25F0702, locatie: Uitdam) is beschreven door P. Cleveringa en toont eenzelfde ontwikkeling. Bovenop het Laagpakket van Wormer (matig siltige klei met bovenin rietwortelstokken onder 545 cm –NAP) bevindt zich rietveen (tussen 397 cm en 545 cm –NAP). Tussen het rietveen zit een 70 cm dikke kleilaag met rietwortelstokken en pyrietvlekken. Bovenop het rietveen ligt tussen -286 cm en -397 cm NAP overgangsveen met rietresten en galigaan, waarschijnlijk mesotroof. Tussen -194 cm en -286 cm NAP is oligotroof veen aangetroffen, bestaande uit veenmos, heide en wollegras. Deze opeenvolging is zeer vergelijkbaar met de opeenvolging zoals die is aangetroffen in het proefperceel. Grootschalige veenvorming in West-Nederland trad op nadat de kust zich steeds meer sloot (zie hierboven), vanaf ongeveer 4.7 ka BP is de Nederlandse kust gesloten (Figuur 3.3). Het Hollandveenpakket komt ook langs de hele Markermeerkust voor, waarbij moet worden aangetekend dat de exacte veensequentie op kleine afstand kan verschillen (zoals al in het proefperceel te zien was). Ook kunnen er klei-inschakelingen in het veenpakket voorkomen, zoals hieronder beschreven.

**Figuur 3.4** *Verbreiding van de z.g. Westfriese afzettingen II in zuidelijk Noord-Holland (naar Pons & Wiggers 1959, hier overgenomen uit Stichting voor Bodemkartering, 1965). Deze afzettingen houden verband met het Oer-IJ dat het Hollandveen afwaterde en nabij Castricum een uitgang had naar zee. Het studiegebied ligt naast het afzettingsgebied van de Westfriese afzettingen.*

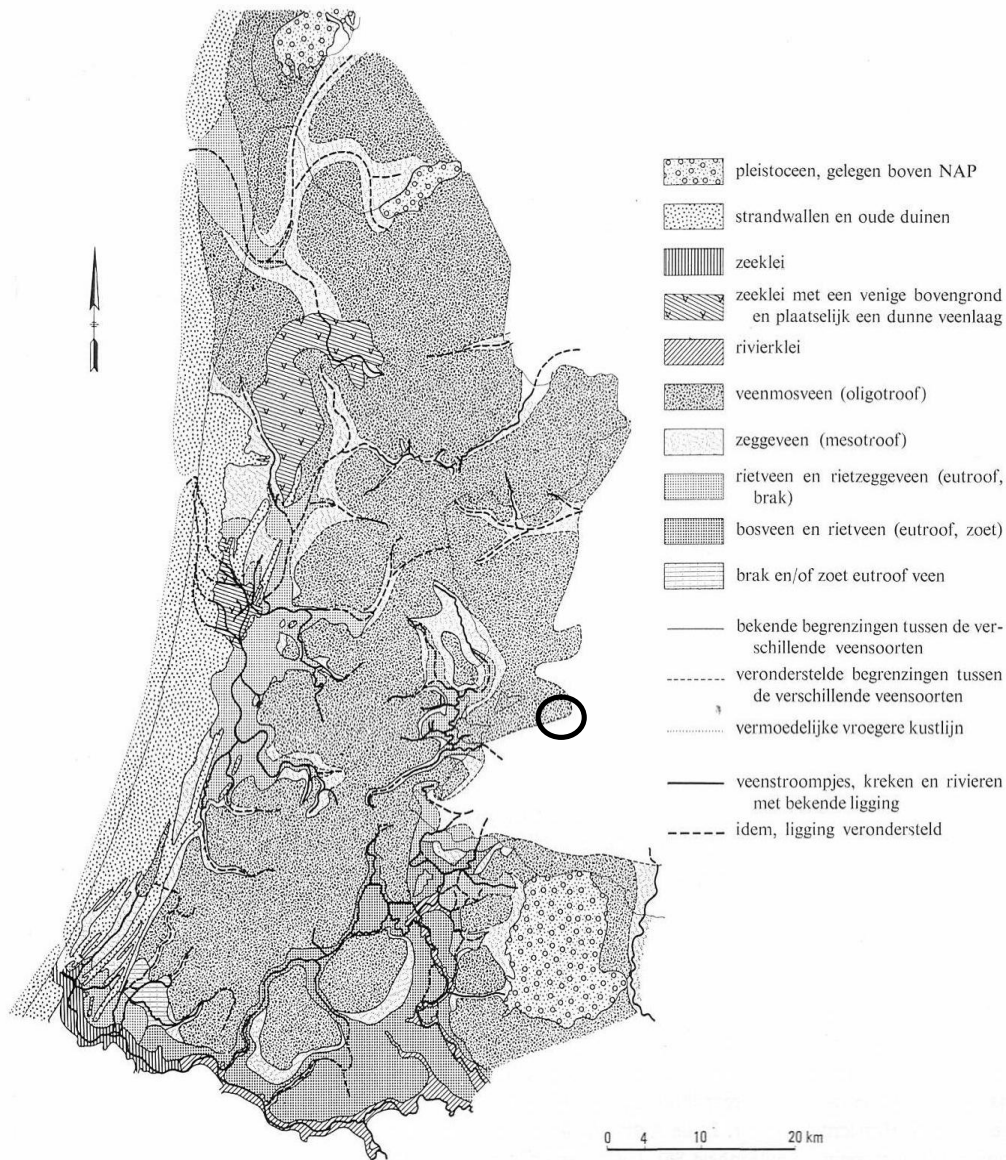


- In het Hollandveen komen deels als vertand complex klastische afzettingen voor. Dit sediment is deels afgezet óp het toenmalige veenoppervlak, maar ook vaak er binnen, namelijk in rekscheuren onder het met de waterstand opdrijvende delen van het veenpakket (klapkleien). Dit kunnen duidelijk herkenbare kleilagen zijn, maar ook uiterste dunne laagjes en ze hoeven niet altijd op hetzelfde niveau voor te komen. In het terreinonderzoek zijn aanwijzingen gevonden van dergelijke scheuren, waarin weinig of geen sediment is afgezet, maar waaromheen wel pyrietvorming is opgetreden. Deze laagjes hebben ook scherpe grenzen, weinig doorworteling en interne gelaagdheid (zie verder hoofdstuk 4), aanvullende aanwijzingen dat het hier klapkleien betreft. Er zijn verschillende mogelijke bronnen voor dit sediment: allereerst de zeegaten. De zeegaten zijn in deze periode echter gesloten of veel kleiner geworden. Het Oer-IJ is een zeegat dat dan nog open is, maar het heeft veel minder

doorstroomcapaciteit. Het natuurlijke afwateringsstelsel van het studiegebied op het Oer-IJ systeem volgde deels oudere geulen en erosiestelsels vanuit de Wormer afzettingen, waarvan de restanten ook nu nog in het landschap herkenbaar zijn (Ransdorper, Holysloter en Uitdammerdie, Groote en Kleine Meer, Oosterpoel, Ooster, Kerk en Arken Ae e.a.). Zij voerden via het Oer-IJ zout water en sediment aan (Figuur 3.4). In het bereik daarvan is ouder veen, vooral veenmosveen, weggeslagen en op wat grotere afstand kleiig of zandig materiaal op het veen afgezet. In het proefperceel kan dit geleid hebben tot de ingeschakelde kleilaagjes. Bij storm kan door opstuwing in het geulen complex (zie ook Pons & Van Oosten, 1974) klei in het veengebied worden afgezet. Gezien de afstand tot het Oer-IJ zal eerder van een brak afzettingmilieu sprake zijn geweest, of zelfs niets anders dan van opstuwing van zoet water. In Vos et al. (2011) wordt gesuggereerd dat een connectie van het Oer-IJ met het Flevomeer (voor ca 2.5 ka BP) er voor gezorgd kan hebben dat het Oer-IJ systeem vergroot is, wat tot meer klei afzettingen in de omgeving kan hebben geleid. Overigens slibt het Oer-IJ na 2.5 ka BP weer dicht omdat dan het Flevomeer een verbinding met een voorloper van de Waddenzee krijgt. Het is ook nog mogelijk dat de jongste (bovenste) kleilaagjes vanuit de meren in het huidige IJsselmeer gebied zijn afgezet. Zonder dateringen is de herkomst van de laagjes niet met zekerheid vast te stellen. Als deze laagjes inderdaad klapkleien zijn, dan kunnen ze ook veel jonger zijn dan het veen zelf en kunnen ze ook horen bij het kleidek (zie hieronder), de Zuiderzee klei. Het is overigens de vraag of deze kleilaagjes tot het Laagpakket van Walcheren of van Wormer in de Formatie van Naaldwijk moeten worden gerekend. Het onderscheid tussen deze twee laagpakketten wordt gemaakt op basis van de stratigrafische positie ten opzichte van het Hollandveenpakket. Omdat deze laagjes in het Hollandveenpakket voorkomen, zou er gekeken kunnen worden naar de positie ten opzichte van de maximale veenuitbreiding. In het proefperceel zal dit samenvallen met de oligotrofe fase in het veen. Omdat de meeste kleilaagjes onder deze fase zitten, zouden die volgens deze redenering bij het Laagpakket van Wormer moeten worden gerekend. Voor klapkleien is een dergelijke redenering moeilijk te maken, omdat ze feitelijk tot beide Laagpakketten kunnen horen. Het bovenste deel van het veen lijkt al sporen van menselijk landgebruik te bevatten. Het is soms sterk veraard, aangetast veen. Pons en Van Oosten (1974) laten zien dat in de vroege middeleeuwen dit gebied nog bedekt was met veenmosveen (Figuur 3.5).



**Figuur 3.5** *Verbreiding van de botanische veensoorten en het afwateringsstelsel in de vroege middeleeuwen (Pons & Van Oosten 1974). Als oriëntatiehulp is het huidige eiland Marken omcirkeld. Het afwateringsstelsel ten westen en zuiden van Marken volgt deels oudere geulen.*



- Het bovenste pakket in het proefperceel is 30 cm dik, en bestaat uit klei. Naast duidelijke bodemvormingskenmerken zoals doorworteling, brokkelige breuk en aggregaatvorming, valt op dat de klei matig zwaar is (niet erg zandig) en vrij humeus. De klei ligt op het Hollandveen en moet geïnterpreteerd worden als het Laagpakket van Walcheren, Formatie van Naaldwijk (NAWA, voormalige Duinkerken afzettingen, Duinkerke II). Waarschijnlijk is vanuit de Zuiderzee in brak milieu dit kleidekje afgezet, waarbij plaatselijk aan de afzetting erosie vooraf gegaan kan zijn. Binnen het Laagpakket van Walcheren wordt de Laag van IJe onderscheiden (Westerhoff et al., 2003). Deze Laag is afgezet door overstromingen vanuit de Zuiderzee en wordt in Noord-Holland uitgebreid

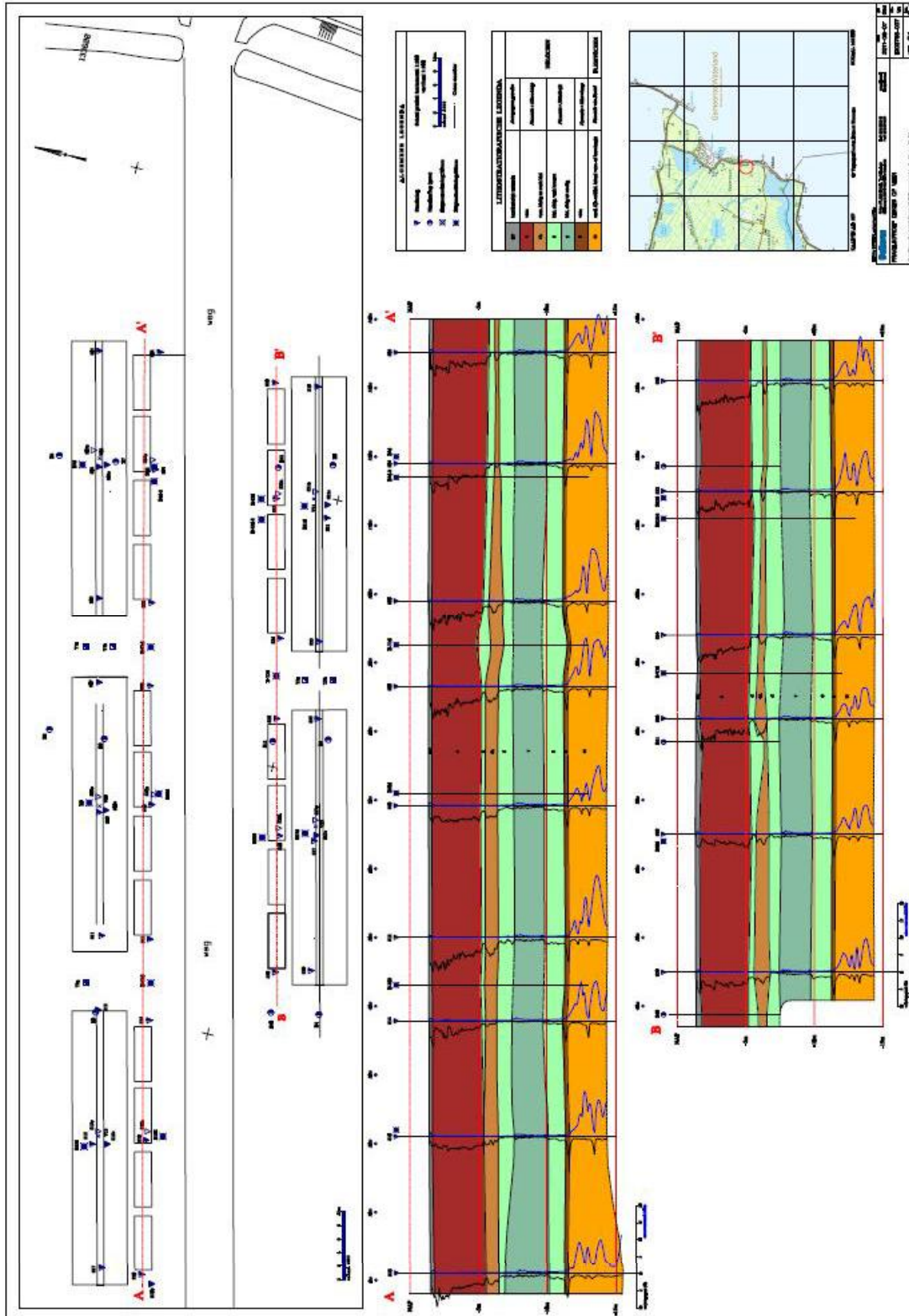
aangetroffen. Deze afzettingen zijn in ieder geval post-Romeins van ouderdom (jonger dan 2.0 ka BP), maar zullen vooral met het groter worden van de Zuiderzee afgezet zijn (na 1.5 ka BP). Zeer waarschijnlijk komt deze laag over grote delen van het dijktraject Amsterdam-Hoorn voor.

### 3.2 Vergelijking met geotechnische profielen in het proefperceel

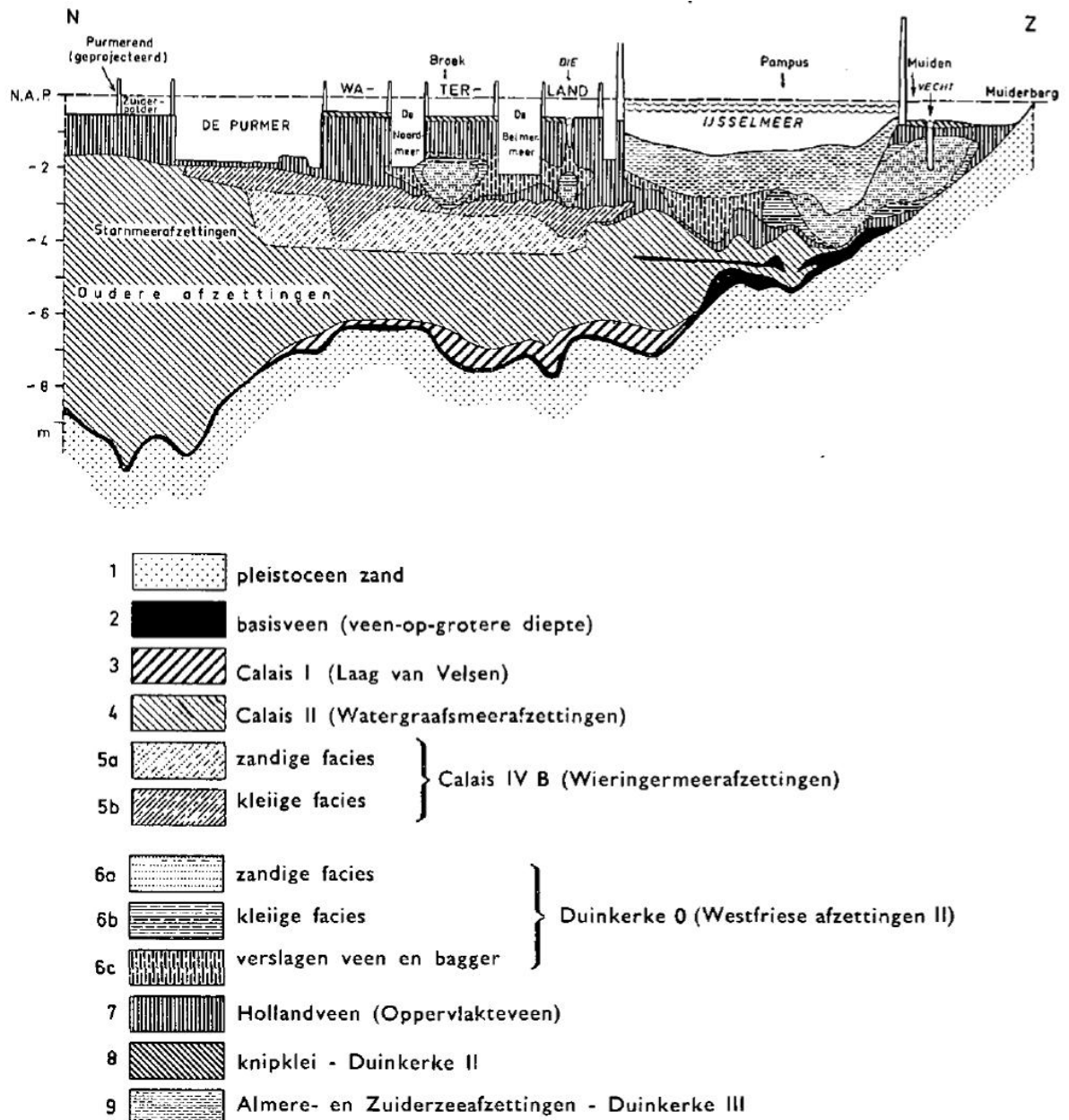
Door Deltares zijn in het proefperceel ook twee geotechnische profielen op basis van sonderingen en boringen gemaakt (Figuur 3.6). Deze profielen zijn vergeleken met de bovenstaande bevindingen en de regionale geologische setting. De overeenkomsten op pakketniveau zijn groot. De geotechnische profielen laten een uniform dekzandpakket zien waarvan de top op minus 12 meter NAP ligt, iets dieper dan in het profiel in Figuur 3.1. Daarbovenop ligt de Basisveen Laag, die is overal aangetroffen. Op de Basisveen Laag ligt een klastisch pakket dat achtereenvolgens bestaat uit een (siltige) klei, zandige klei en weer een (siltige) klei. Ook deze opeenvolging is aangetroffen in de handboringen die later zijn uitgevoerd. Op dezelfde diepte als in Figuur 3.1, op -6.5 m NAP, gaat de klei van het Wormer Laagpakket over in het Hollandveen. In de geotechnische profielen is de rietklei aan de top ook aangetroffen en beschreven als kleilig tot sterk kleilig veen. In de interpretatie van het geotechnisch profiel is deze laag tot de Formatie van Nieuwkoop gerekend, terwijl in dit rapport deze bij de Formatie van Naaldwijk wordt gerekend. Het verschil is terug te voeren op de classificatie van deze afzettingen als klei of als veen. Gezien het LOI percentage tussen de 15 en 20 % (op een monster na), zou dit pakket als klei moeten worden geclassificeerd en daarmee tot de Formatie van Naaldwijk moeten horen. In de geotechnische profielen ligt bovenop de rietklei weer een kleilaag voordat daarboven het Hollandveen begint. Deze kleilaag, op -6.0 m NAP, is wellicht ook aangetroffen in de meest westelijke boring in het profiel in Figuur 3.1, in de overige boringen is deze niet aangetroffen en ook in het geotechnisch profiel wigt deze laag uit. Het Hollandveen is weergegeven als een uniform pakket in de geotechnische profielen, er is geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende veensoorten. Het bovenste kleipakket (Laag van IJe, Laagpakket van Walcheren) is over het hele profiel aanwezig en wordt als antropogene gronden aangeduid. De opbouw van het perceel is op dit hoofdniveau erg uniform, de lagen meestal over het hele perceel vervolgbaar, en zijn – op deze schaal – min of meer horizontaal afgezet. Op fijnere schaal, als de pakketten in detail worden bekeken, zijn er grote verschillen op kleine afstanden waarneembaar, bijvoorbeeld in aanwezige veensoorten en in de aanwezigheid van kleilaagjes (aantal, diktes, dieptes). Om te bepalen of deze heterogeniteit belangrijk is voor ruimtelijke variabiliteit in de sterkte van de grond moet eerst bepaald worden of de sterkte afhankelijk is van de veensoort (zie hoofdstuk 4).

Het proefperceel bij Uitdam heeft een klassieke Holocene kustvlakte opeenvolging met dekzand (-11 m NAP) onder 30 cm basisveen, 4 meter Wormer afzettingen (kleien en zavels), 5 meter Hollandveen en 30 cm Zuiderzee kleidek (aan het maaiveld). Als dat vergeleken wordt met de regionale geologie (Figuur 3.7) dan valt op dat de gevonden opeenvolging over grotere afstanden voorkomt. Op grotere afstanden kan de hoogte van de top van de Pleistocene afzettingen wel variëren, met daarmee de ligging van het basisveen. In Figuur 3.7 zijn ook zandiger en kleiiger facies aangegeven in het Wormer Laagpakket (Calais afzettingen in Figuur). De top van deze afzettingen vertoont een lichte helling in noord-zuid richting van een paar meter over de afstand van het profiel. In het Hollandveenpakket zijn een aantal opgevulde geulsystemen aangetroffen, niet ver van het proefperceel, die mogelijk de bron zijn van de kleilaagjes die in het Hollandveen zijn aangetroffen (zie hierboven). In heel Waterland ligt de Laag van IJe (Laagpakket van Walcheren) op het Hollandveen.

Figuur 3.6 Oost-west Geotechnische profielen over het proefperceel bij Uitdam (De Bruin et al., 2012). De gevonden opeenvolging is erg uniform in het proefperceel.



**Figuur 3.7** Geologische doorsnede B-B (zie Figuur 3.4) van de Purmer naar Muiderberg (naar Pons & Wiggers (1959), hier overgenomen uit Stichting voor Bodemkartering, 1965). Het proefperceel bevindt zich geprojecteerd ongeveer aan de zuidkant van de polder waarin 'Die' staat.



### 3.3 Nadere beschrijvingen van het veenpakket in de inspectiesleuven in het proefperceel Utdam

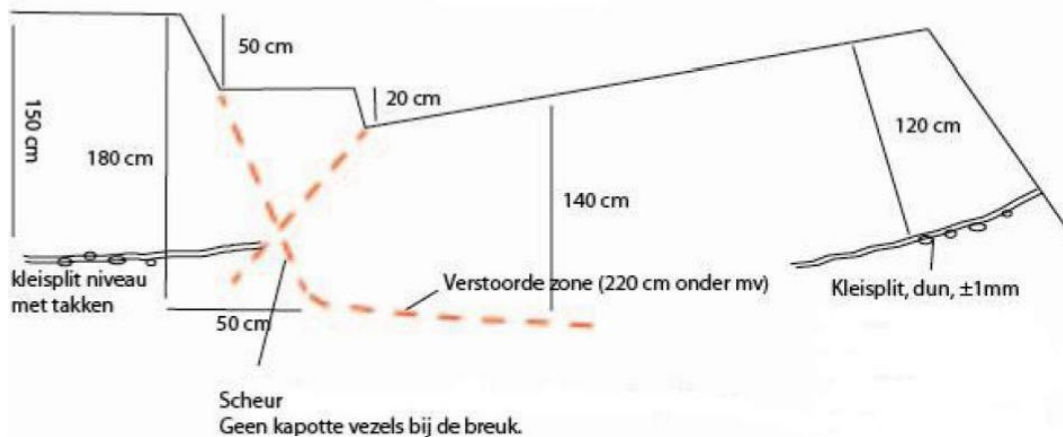
Na de bezwijkproeven zijn op alle locaties inspectiesleuven (Figuur 2.1) gemaakt. Op 26 oktober 2011 (Ane Wiersma, Gilles Erkens), 2 november 2011 (Ane Wiersma), 4 april 2012 (Gilles Erkens, Geert van Wirdum) en 5 april 2012 (Geert van Wirdum) werden samen met Gerard Kruse inspectiesleuven bekeken. De sleuven hebben ongeveer de breedte van de bak van de graafmachine en worden tijdens de inspectie met een pomp droog gehouden.

Mede vanwege de instabiliteit van het veen is er beperkt tijd om waarnemingen te doen, foto's te maken en eventueel monsters te nemen. In de onderstaande tabel zijn de waarnemingen uit de inspectiesleuven met de boringen vergeleken om een ruimtelijk beeld te krijgen. Ook is er een korte samenvatting gegeven van de geotechnische waarnemingen die door Gerard Kruse zijn gemaakt, om zo een verband te leggen tussen de geologische opbouw en het geotechnisch gedrag. Tevens is er in deze tabel een indeling gemaakt in relevante laagpakketten die aangetroffen zijn in de boringen (zie hierboven) en sleuven. Dit vormt de indeling in stratigrafische klasse. De indeling is nauwkeuriger voor de bovenste ca 4 meter dan de geologische beschrijvingen in het profiel (Figuur 3.1) omdat deze afzettingen in de proefsleuven nauwkeuriger zijn beschreven. Deze stratigrafische indeling is gebruikt bij het classificeren van de geotechnische monsters (zie hoofdstuk 4).

<b>Tabel 3.1</b>				
<b>Samenvatting van de waarnemingen in de proefsleuven en de relatie met de waarnemingen in de gutsboringen. Dieptes zijn opgegeven in cm beneden maaiveld</b>				
<b>Laag (stratigrafische klasse)</b>	<b>Boringen</b>	<b>proefsleuven - geologisch</b>	<b>proefsleuven 1 &amp; 2 geotechnisch (uit Zwanenburg 2012)</b>	<b>proefsleuven 4 &amp; 5 geotechnisch (uit Zwanenburg 2012)</b>
1 Kleidek (NAWA-IJe)	0-30 cm -mv humeuze klei	Humeuze klei, matig zwaar, actuele bodem	gescheurd en verzet langs de verticale breuken (achterkant sleuf) die naar de achterkant van de container en betonplaat loopt	vervorming deels concordant met maaiveld. gescheurd en verzet langs de verticale breuk die naar slootkant van de container loopt
2 Bovenste veen (NIHO)	30-90 cm -mv oligotroof veen (mineraal-arm)	riet-zeggeveen, veel rhizoomresten van riet bovenin. Bovenin oxidatie laag. Onderin oorspronkelijk oligotroof veen (al vanaf 35 cm veenmosveen met wollegras resten mogelijk), soms sterker naar zeggeveen neigend. In veen zitten discontinuïteiten bestaande uit vegetatie-overgangen, platige lagen, of oxidatie horizonten (bodenvorming).	gescheurd en verzet langs de verticale breuken (achterkant sleuf) die naar de achterkant van de container en betonplaat loopt. Pollen die eruit getrokken worden zorgen voor holtes die preferentie stroombanen voor grondwater zijn.	vervorming deels concordant met maaiveld, veen redelijk compact. gescheurd en verzet langs de verticale breuk die naar slootkant van de container loopt
3a Veen (NIHO) in vertand complex	115-165 cm -mv oligotroof veen	veenmosveen met wollegras en wortels en uitlopers van zeggen. In veen zitten discontinuïteiten bestaande uit vegetatie overgangen, platige lagen, of oxidatie horizonten (bodenvorming).	gescheurd en verzet langs de verticale breuken (achterkant sleuf) die naar de achterkant van de container en betonplaat loopt	vervorming deels concordant met maaiveld, veen redelijk compact

3b Klei in vertand complex (NAWA)	105-115 cm -mv zware klei	kleibandjes omgeven door veenmosveen met heidehout, soms platige afgezet. Kleilagen kunnen splitsen, dikte 3-25 mm. Ook onderwaterafzettingen en zeer pyrietrijke lagen. Kleilaag volgt het veenoppervlak en is subhorizontaal.	gescheurd en verzet, maar plaatselijk ook vervormd in s-vorm. Kleien vormen een hydraulische barrière. Klei is soms waargenomen op 1.3-1.4 meter diepte, dit is wel dezelfde laag.	vervorming deels concordant met maaiveld, geen versmering met breuk naar de achterkant van de sleuf. gescheurd en verzet langs de verticale breuk die naar slootkant van de container loopt
4 Zeggeveen (NIHO)	165-320 cm -mv Voornamelijk zeggeveen, boven 200 cm ook oligotroof	overgangslaag met galigaan 205-260; soms enig hout, soms enig Melianthus zaadjes, rond 200 cm ook soms kleilagen in veen aanwezig In monsters onder microscoop in "zeggeveen" nogal eens oligotrofe componenten. Pakket kan erg slap zijn.	op 220-265 horizontaal breukvlak (scheefgesteld, zie Figuur 3.8 voor situatie tekening), vezels langs vlak meestal niet gescheurd. Verticale breuk (zie hierboven) haakt op deze breuk aan. In dit pakket ook de grootste vervorming van de hellingmeetbuis (op 220 cm diepte)	slap veen, locatie met maximale uitbuiging van hellingmeetbuis (op ca 2.5 meter diepte). Okerlaag (gyttja-achtig, kalkloos bleek bij labtesten) aangetroffen in dit pakket op ca 1.8 m - mv
5 Overgang klei (NAWO) – eutroof veen (NIHO)	320-520 cm -mv afwisseling van klei en veen, veel rietresten, rietklei	afwisseling van klei, venige klei en kleiig veen, plaatselijk veel rietresten, soms ook kleilaagjes in rietveen. Pakket soms erg slap	geen vervorming waargenomen. Waterdruk, gas en water (helder met groen/grijze klei) komt met klei van onder door scheuren omhoog.	geen vervorming waargenomen.
6 Onderste klastisch pakket, (NAWO)	520-910 cm -mv overwegend klei en zavel	Niet bereikt	Niet bereikt	Niet bereikt
7 Basisveen (NIBA)	910-940 cm -mv rietveen	Niet bereikt	Niet bereikt	Niet bereikt
8 Pleistocene ondergrond (zand, Formatie van Boxtel)	>940 cm -mv zand	Niet bereikt	Niet bereikt	Niet bereikt

Figuur 3.8 Situatie tekening bij container 3 met de inspectiesleuf van 26-10-2011



De opeenvolging zoals aangetroffen in de inspectiesleuven vertoont veel overeenkomst met de opeenvolging in de boringen, vooral met boring 2 (Figuur 3.1). Er zijn geen grote afwijkingen gevonden in de sleuven ten opzichte de rest van het perceel, of tussen de sleuven onderling. Pakket 2 (Tabel 3.1) lijkt meer oligotroof veen (heide-, wollegras- en veenmosveen) te bevatten in de sleuven die het meest in het midden van het perceel gelegen waren dan de boringen in de noordoost en noordwest kant van het perceel (zie ook Figuur 3.1). Mogelijk is dit verschil het gevolg van het bekijken van grotere oppervlakten in de wanden van de sleuf, waarin plantenresten makkelijker te herkennen zijn dan in boringen, waar de bekeken grondmonsters een diameter hebben van twee centimeter. Daarnaast werd in de sleuven duidelijk dat vooral dit veenpakket horizontale lagen bevat, bestaande uit afwisselingen van veensoorten, kleilaagjes, of oxidatiehorizonten (beginnende bodemvorming). In boringen is dit soms moeilijk te zien en de ruimtelijke context is dan helemaal niet bekend. Deze lagen waren vaak over de hele sleuf aanwezig, maar konden ook weer variatie tonen binnen één inspectiesleuf. De kleilaag op 1.2 meter onder maaiveld (ook herkend in de boringen) splitst zich bijvoorbeeld soms in twee lagen, en lijkt soms het voormalige veenoppervlak te volgen waarop het is afgezet. Daardoor kent de exacte diepteligging van de kleilagen nogal wat variatie op de schaal van het proefperceel. Een andere observatie die overeen kwam tussen de boringen en de sleuven was dat delen van het veenpakket redelijk stevig en compact waren en andere juist uitgesproken slap. Die laatste konden daarom niet altijd goed bemonsterd worden met de handboor (materiaal liep uit de guts), maar in de inspectiesleuven was het mogelijk het hele veenpakket op consistentie te beschrijven. Het materiaal boven het kleilaagje op 120 cm onder het maaiveld was duidelijk compacter en steviger dan het veen onder die kleilaag. In laag 4 (Tabel 3.1) werd duidelijk dat de bovenkant van het zeggeveen (Hollandveen) veel galigaan bevat en helemaal bovenin ook nog resten van oligotrofe veensoorten bevat. In één sleuf werd in dit pakket een okerkleurige, gyttja-achtige, laag aangetroffen (enkele cm dik) die in het laboratorium kalkloos bleek te zijn. De ontstaanswijze van deze laag is vooralsnog onduidelijk. Mogelijk is dit Sideriet ( $\text{FeCO}_3$ ) gyttja, dat bekend staat om zijn geelbruine kleur en ontstaat als gevolg van het neerslaan van carbonaten uit kwelwater (Bos et al., 2012). De kalk in Sideriet gyttja reageert alleen bij hogere temperaturen met HCL, waardoor deze vaak kalkloos lijkt. Een andere mogelijkheid is dat dit Pyriet-gyttja ( $\text{FeS}_2$ ) is, omdat soms wel

zwavel werd geroken. Pyriet afzetting wijst op indringing van brak of zout water. In de andere sleuven is deze laag niet aangetroffen.

Als laatste werden de inspectiesleuven gebruikt om de hydrologische situatie te analyseren. Door de breuken die ontstonden na belasting stroomde veel water tijdens het graven van de sleuven. Het leek erop dat dit preferente stroombanen waren geworden voor het grondwater. Als (riet)pollen uit de wand werden getrokken kon ook daar een preferente stroombaan ontstaan. In enkele sleuven werd de bovenkant van de Wormer klei bereikt (kleiig veen, venige klei, rietklei; pakket 5 in Tabel 3.1), waar een grote waterdruk op stond. Gas en water (met klei opgelost) kwam daar door scheuren naar boven.

In de inspectiesleuven is gekeken naar een eventuele relatie tussen de aanwijzingen in het veld voor het bezwijken (breukvlakken, scheuren, etc.) en de aangetroffen veensoorten. Hier lijkt geen duidelijke relatie tussen te bestaan. De verticale scheuren en breuken aan de achter- en slootkant van de containers gaan dwars door de beschreven veenlagen heen. Langs de breuken is relatief weinig vervorming opgetreden in het veen (wel scheuren en afbreken vezels langs de breuk) en waar dit wel gebeurde ontstonden de breuken onafhankelijk van de veensoort. Het subhorizontale schuifvlak aan de onderkant van de verschoven grondmoot bevond zich in het zeggeveen (op 220 cm –mv, in pakket 4), juist een van de meest homogene veensoorten in de sequentie. Wel was dit zeggeveen minder compact en slapper dan de bovenliggende veenlagen. De kleilaag op 120 cm –mv is gebruikt om de verplaatsing langs de breuk te meten, maar lijkt zelf niet te hebben gefungeerd als glijvlak. Opvallend is verder dat de complete vervorming in het veenpakket heeft plaatsgevonden, de onderliggende venige kleien en kleien spelen geen rol van betekenis. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de inspectiesleuven niet volledig tot in deze pakketten zijn gegraven.



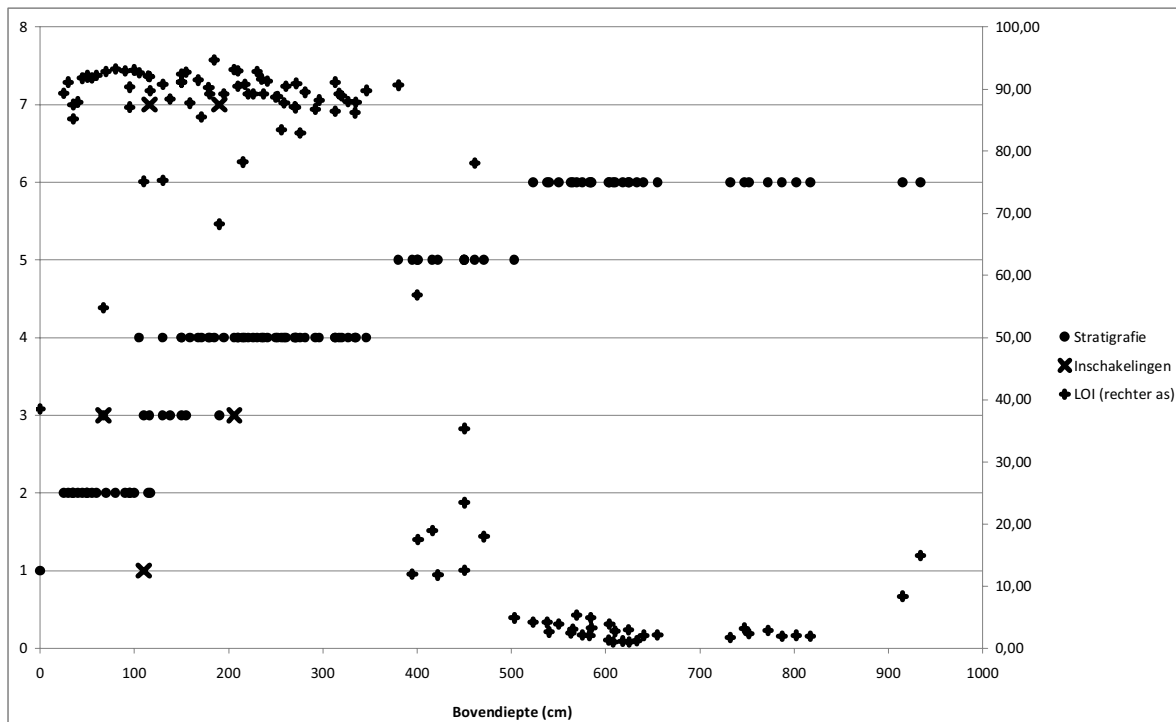


## 4 Beschrijving van proevenmonsters

### 4.1 Inleiding

De geotechnisch beproefde veenmonsters zijn individueel, dus niet als aansluitende monsters per kern beschreven. Ze waren elk oorspronkelijk 15 cm lang, maar onder invloed van de eerdere geotechnische tests en de bewaartijd en bewaaromstandigheden bijna allemaal zeer donkerbruin tot zwart geworden. Daarnaast waren de monsters gekrompen en ingedroogd en daardoor moeilijk zonder opweken en uitpluizen op veensoort en andere kenmerken te beoordelen. De oplossing is gevonden in het opzetten van een referentiekader in het veld (zie stratigrafische indeling, Tabel 3.1) en bij de beoordeling van de monsters er vooral op te letten in hoeverre die overeenstemmen met of afwijken van de verwachte veenopbouw. De monsters zijn ingedeeld in de verschillende stratigrafie klassen zoals opgesteld naar aanleiding van de resultaten in het proefperceel (Tabel 3.1). In Figuur 4.1 zijn de classificaties van alle monsters in de verschillende stratigrafische klassen weergegeven ten opzichte van de diepte (bovendiepte) van de monsters. De diepst liggende monsters hebben ook een hoge stratigrafische classificatie (diepe laag), wat de consistentie van de classificatie in het laboratorium toont. Sommige klassen (in het bijzonder 2,3 en 4) hebben een gedeeltelijke overlap in diepte, mogelijk is dit het gevolg van natuurlijke variatie in de diepte van de lagen (zie bijvoorbeeld Figuur 3.1) en/of sommige pakketten zijn geschakeld (met name klasse 3). De klei-inschakelingen zoals aangetroffen in de monsters (kruisjes in Figuur 4.1) bevinden zich allemaal tussen de 100 en 200 cm onder maaiveld, de meeste rond 100 cm. Dit komt overeen met de kleilagen aangetroffen op dezelfde diepte (120 cm –mv) in de boringen en inspectiesleuven (zie hoofdstuk 3.3). In Figuur 4.1 is ook het organische stof gehalte van de monsters uitgezet tegen de diepte (kruisjes). Zoals ook in het proefperceel is aangetroffen is het organische stof gehalte laag (0-5 %) onder de 500 cm –mv (komt overeen met de Wormer kleien en zavel, klasse 6 in Tabel 3.1). Tussen 350 en 400 cm –mv neemt het organisch stof gehalte sterk toe tot uiteindelijk 90 %, wat de kleiige venen en venige kleien van stratigrafieklasse 5 weergeeft (Tabel 3.1). Boven de 350 cm –mv zit veen (organisch stof gehalte ~90 %) behorend bij klasse 2,3 en 4 (individuele kleilaagjes komen soms terug als lagere organische stof gehalten van bulkmonsters). Het bovenste monster hoort bij klasse 1 (top-kleilaag) en heeft een beduidend lager organisch stof gehalte van ~40%. Dit toont aan dat de individuele monsters – ondanks dat ze tijdens het classificeren niet in de natuurlijke opeenvolging zaten – allemaal binnen het ruimtelijke kader van het proefperceel konden worden geplaatst.

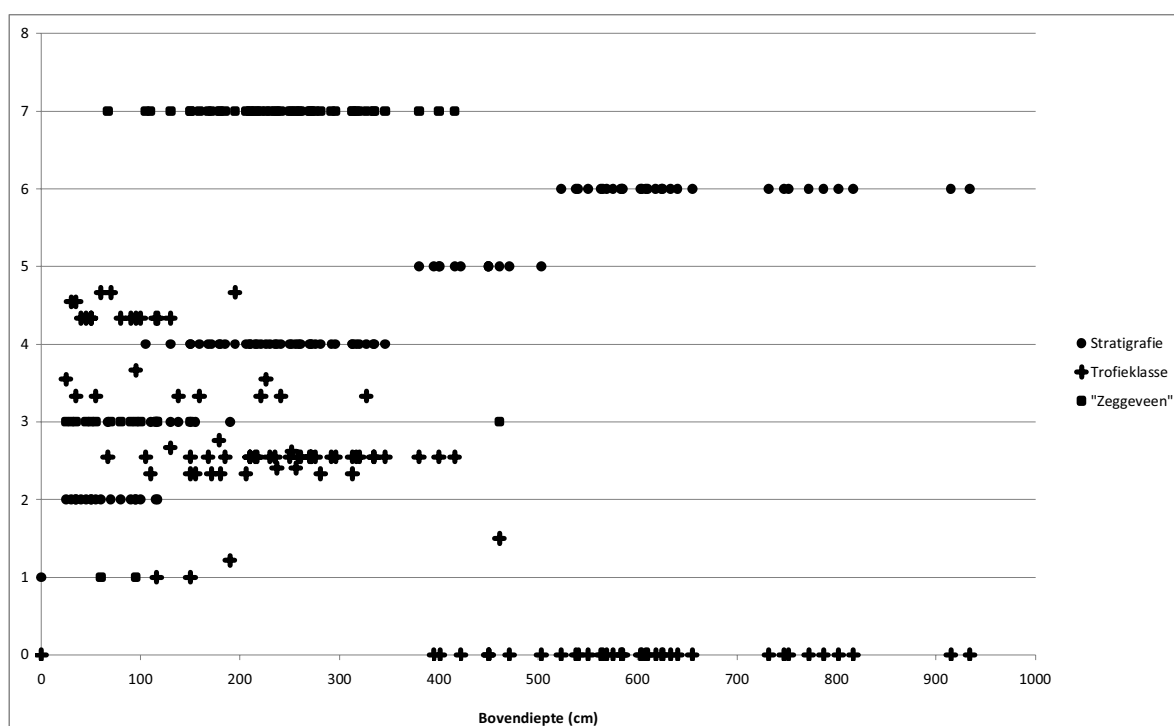
Figuur 4.1 Gloeiverlies (LOI, als % op de rechter as), het voorkomen van inschakelingen met klastisch of gyttja-achtig materiaal en stratigrafische indeling (zie Tabel 3.1) van de beoordeelde monsters, uitgezet naar de diepte van de bovenkant van de monsters.



De resultaten van de monsterbeoordelingen zijn samengevat in de bijlage in de vorm van een exceltabel. In de tabel zijn de veensoorten beschreven op verschillende kenmerken (zie hoofdstuk 2) en vervolgens ingedeeld naar stratigrafische klasse. De veensoorten zijn daarnaast kwantitatief gecodeerd als 7 (de dominante soort in het monster), 3 (belangrijkste nevencomponenten), 1 (ondergeschikte component) of geen waarde (niet aangetroffen). De kwantitatieve codering is vervolgens samengevat in één getal. Dat getal indiceert de trofiegraad van het ecosysteem (mate van voedselrijkheid: eutroof, mesotroof, oligotroof), waarin de veenvormende vegetatie zich ontwikkelde of waarin het sediment werd afgezet. Het omspannt een bereik van 0 (eutroof, door meestal basenrijk, soms ook brak oppervlakte- of grondwater beïnvloed; inclusief klastische afzettingen) tot 4,7 (oligotroof, voornamelijk door regenwater beïnvloed). Door deze kwantificering worden monsters mogelijk onvoldoende oligotroof beoordeeld, omdat de soort zeggegeven als mesotroof (het midden houdend tussen oligotroof en eutroof) is opgevat. Bij de weging van zeggegeven in de trofie-indicatie is hier in zoverre rekening mee gehouden, dat voor mesotrofe veensoorten en zeggegeven dezelfde weging is gebruikt als voor oligotrofe veensoorten. Zeggegeven omspannt niet alleen een breed ecologisch bereik, maar de naam wordt ook vaak weinig specifiek gebruikt. Bij de beoordeling van veenmonsters worden monsters waarin veel worteltjes voorkomen, en weinig andere, duidelijk aan bepaalde soortengroepen toe te wijzen resten, vaak als zeggegeven beoordeeld, zonder dat dus zeker is dat zeggesoorten de voornaamste vormers zijn geweest. Bij een visuele routinebeoordeling is deze onzekerheid niet goed te

verkleinen, en dat geldt zeker voor monsters die, zoals de hier beoordeelde, niet vers zijn gezien. In Figuur 4.2 is dit weergegeven. De trofieklasse van de monsters onder de 400 cm –mv is laag (0), omdat dit de kleien of zeer eutrofe kleiige venen zijn. Boven de 400 cm –mv is de trofieklasse hoger, aanvankelijk tussen de 1 en 4 (de zegge- en rietvenen), maar boven de 200 cm –mv komen ook venen voor met trofieklasse hoger dan 4 (de oligotrofe venen). Opnieuw toont dit de consistentie aan tussen de classificatie van de monsters en de veldsituatie.

**Figuur 4.2** Stratigrafische indeling (codering: zie Tabel 3.1), trofieklasse en het voorkomen van "zeggeveen" (zie tekst voor de betrekkelijkheid van deze aanduiding) in de beoordeelde monsters, uitgezet naar de diepte van de bovenkant van de monsters.



## 4.2 Veensoorten aangetroffen bij Uitdam

*Geert van Wirdum m.m.v. Gilles Erkens, Ane Wiersma*

In hoofdstuk 4 wordt algemene informatie gegeven over de beoordeling van veenmonsters en over de veensoorten die bij de monsterbeoordelingen en in het proefperceel bij Uitdam zijn waargenomen. Tevens worden enkele bijzondere waarnemingen aan dit veen besproken.

Volgens het projectplan zouden de botanische veensoort (met het blote oog), het organisch stofgehalte (gloeiverlies), de consistentie en de amorfiteit (beide met knijpproeven) worden bepaald. Dit is conform standaardprocedures uitgevoerd in de beschrijvingsruimtes te Delft en Utrecht.

De gevolgde procedures zijn beschreven in de twee nu in Nederland meest gangbare beschrijvingsvoorschriften voor veen, namelijk GCV (TAW, 1996) met een geotechnische invalshoek en SBB (Bosch 2000) met een geologische invalshoek. Omdat de conditie van het veen niet toeliet zo een bevredigende mate van zekerheid te verkrijgen<sup>1</sup>, zijn verschillende monsters ook microscopisch geanalyseerd. Gezien de aard van de monsters en het doel van de beschrijving had het onderzoek een enigszins experimenteel karakter.

De amorfiteit van veen moet vers bepaald worden. Slechts van enkele aspecten ervan kan ook in al enige tijd aan de lucht bewaarde monsters nog een beeld verkregen worden. De uitgevoerde amorfiteitsschatting is daarom van beperkte betekenis. De geschiktheid van de standaardbepaling van de amorfiteit van veen is ook in andere opzichten voor het veen in de West-Nederlandse ondergrond discutabel. Veel van dit veen ligt onder klastische lagen, heeft langdurig contact gehad met brak of zout water en is aangevuld met organisch materiaal uit wortelstelsels van jongere en andere levensgemeenschappen. De amorfiteit ontwikkelt zich daardoor ten dele anders dan in boven de regionale grondwaterspiegel gelegen oppervlakteveen.

Een visuele schatting van het vezelgehalte moet eigenlijk ook steeds op vers materiaal gedaan worden. Voorgesteld was na te gaan of het vezelgehalte door zeven door een 5 mm zeef reproduceerbaar te bepalen is. Dit bleek niet goed uitvoerbaar. Er is volstaan met een ruwe beschrijving op basis van visuele beoordeling, die steekproefsgewijs ondersteund is door beoordeling van gewassen monstermateriaal.

Voor zover aanwezig zijn opvallende structuurkenmerken, zoals gelaagdheid, interne breukvlakken en het voorkomen van kleilagen kwalitatief beschreven.

Hieronder volgt een korte bespreking van de veensoorten en hun kenmerken.

### 4.3 Botanische veensoorten

#### 4.3.1 Inleiding

De botanische veensoort wordt in beginsel op grond van analyse met het blote oog bepaald. Hierbij is van groot belang dat het veen herhaaldelijk in verschillende richtingen wordt gespleten of gebroken, zodat de plantenresten zichtbaar worden. GCV en SBB hanteren een licht verschillende lijst van botanische veensoorten. In geen van beide is de definitie per veensoort volkomen duidelijk. Volgens GCV hebben dan ook alle daar genoemde classificatiesystemen voor de botanische veensoort gemeen dat er een zekere deskundigheid en ervaring nodig is om een goede beschrijving van het materiaal te kunnen geven. Hierbij wil nog wel eens aan de aandacht ontsnappen dat maar een zeer beperkt aantal plantensoorten regelmatig in het veen herkend kan worden, en dan nog de meeste in weinig verweerd en weinig belast veen. De overdracht van de ervaring uit gebieden met veel tot de oppervlakte reikend, niet verdrongen en niet door klastische afzettingen afgedekt veen naar westelijk Nederland is daardoor soms lastig, zoals ook al is aangegeven voor het kenmerk amorfiteit. Met microscopische analyse is een verder gaande herkenning mogelijk, maar ook dan is het aantal plantensoorten waarvan resten kunnen worden herkend beperkt. Goede aanknopingspunten zijn Grosse-Brauckmann (1972, 1974, 1992), Overbeck (1975), Lévesque et al. (1988), Mauquoy & Van Geel (2007) en Meier-Uhlherr et al. (2011).

---

<sup>1</sup> Het licht in de beschrijvingsruimte in Delft, welke niet primair voor dit type beoordelingen is ingericht, werd hierbij als minder gunstig beleefd, waarna de laatste beoordelingen in de beschrijvingsruimte van TNO/Deltares in Utrecht zijn uitgevoerd.

#### 4.3.2 Eutroof en oligotroof veen

Veen wordt naar gelang de milieuomstandigheden tijdens de vorming en afzetting ingedeeld in de veensoortgroepen eutroof (voedselrijk) en oligotroof (voedselarm), vaak nog met de tussengroep mesotroof (matig voedselrijk) veen. Deze termen moeten niet al te strikt worden opgevat. Eutroof veen wordt gevormd in ecosystemen met een duidelijke invloed van grond- en oppervlaktewater, dat meestal basenrijk, soms zelfs enigszins brak is: laagveen. Het vormingsmilieu is meestal voedselrijk, maar het kan ook matig voedselrijk en in bijzondere gevallen zelfs voedselarm zijn. Oligotroof veen wordt gevormd in ecosystemen, waarin de invloed van regenwater overheerst: hoogveen. Regenwater is basenarm en daardoor onder invloed van de levensgemeenschap en de afbraak van organische stof enigszins zuur. Zonder inbreng van al dan niet natuurlijke meststoffen is het vormingsmilieu ook voedselarm. Mesotrofe veenvormende ecosystemen staan in de tijd en in de ruimte tussen beide in: overgangsvenen. In dit hoofdstuk wordt deze groep niet afzonderlijk benoemd omdat dat tekort zou doen aan de onzekerheid die al voortkomt uit herkenningssmoeilijkheden en uit het voorkomen van jonger wortelveen in een oudere veenmatrix. Bos- en broekveen kunnen bij zorgvuldige analyse soms aan een van de groepen worden toegekend, maar vaak berust dit op een interpretatie, waarbij gebruik gemaakt wordt van de ligging in het landschap en het profiel. Dat is hier niet gedaan om cirkelredeneringen over het vormingsmilieu en de vermoedelijke ruimtelijke verbreiding te vermijden.

Niet alleen de termen voedselrijk en –arm, maar ook hoogveen en laagveen leiden in de West-Nederlandse situatie gemakkelijk tot verwarring. Tijdens de turfwinning is het veen dat van onder de (grond)waterspiegel moest worden opgebaggerd steeds laagveen genoemd, ook wanneer dit bestaat uit later verdrongen hoogveen.

In de loop van het Holoceen heeft zich in grote lijnen in West-Nederland een typische veenontwikkeling afgespeeld (o.a. Visscher, 1949) van levensgemeenschappen met veel riet op een vaak kleiig substraat, via veenvormende riet- en zeggegemeenschappen naar door veenmossen, heideachtigen en wollegras gedomineerde gemeenschappen. Onder invloed van overstroming door rivieren en van verdroging zijn in de verschillende typen bossen, met verschillende overheersende boomsoorten gevormd, waaruit bosveen is ontstaan. Wanneer deze invloeden beperkt waren, konden langdurig broekbossen ontstaan, waarvan waarschijnlijk vaak maar beperkt houtresten in het veen zijn terug te vinden. In de loop van de geologische geschiedenis en onder invloed van landgebruik is de ontwikkeling vaak onderbroken of zelfs “teruggezet”, waardoor de opeenvolgingen van veenlagen kan afwijken van dit algemene schema.

#### 4.3.3 De successie in het Uitdamse Hollandveen

In dit overzicht wordt geen aandacht besteed aan de Basisveen Laag, omdat hiervan geen monsters zijn beoordeeld. De bespreking van de veensoorten is daarom gericht op het Hollandveen Laagpakket, de aansluiting daarvan op het eronder liggende Laagpakket van Wormer, en de vertanding met en afdekking door klastische afzettingen van het Laagpakket van Walcheren.

In het Laagpakket van Wormer zijn de monsters, die vooral uit klei en eventueel zand bestaan onderscheiden als stratigrafische klasse 6 (Tabel 3.1). In enkele gevallen kwamen hier duidelijke rietresten in voor.

In een “normale”, opbouwende ontwikkelingsgang (successie) zoals al in algemene zin besproken kan veen zowel ontstaan wanneer een landschap geleidelijk vernat (“vermorsing”), als wanneer een waterlichaam geleidelijk ondieper wordt (“verlanding”). De veenvorming zelf

versterkt beide processen. De veenvorming in Nederland hangt grootschalig samen met de overgang van het Pleistoceen naar het Holoceen. Onder invloed van de stijgende grondwaterspiegel (zie hoofdstuk 2) vond vermorsing plaats, terwijl de afnemende snelheid van relatieve zeespiegelstijging en de sedimentatie een geschikt uitgangspunt boden voor verlanding in ondiep oppervlaktewater. In de procesgang zijn diverse “herhalingen” te ontdekken. De voortgaande verlanding door veenontwikkeling veroorzaakte in de omgeving vermorsing door verminderde afwatering en door overstromingen vanuit zee en rivieren trad erosie en verdrinking op, waarna ook weer opnieuw verlanding kon beginnen. Het belangrijkste deel van het veenpakket bij Uitdam, het Hollandveen binnen de Formatie van Nieuwkoop, weerspiegelt de ontwikkeling na verlanding, met daarin enkele herhalingen. De verlandingsreeks begint bij brakke of zoete, door riet en biezen gedomineerde ecosystemen, die teruggevonden worden als organische kleien, rietklei en rietveen, met allerlei overgangen daartussen, ze zijn in dit onderzoek onderscheiden als stratigrafische klasse 5. Deze pakketten liggen op marien sediment, vooral klei, van de Formatie van Naaldwijk (Laagpakket van Wormer).

Bij gelijktijdige verzoeting namen grote cypergrassen (zeggen, galigaan) de overheersende rol van riet over. Het zeggeveen dat hieruit gevormd is, is als stratigrafische klasse 4 onderscheiden. Van de precieze samenstelling ervan valt zonder nader onderzoek weinig te zeggen, omdat van de meeste plantensoorten geen goed met het blote oog herkenbare resten zijn achtergebleven en omdat van het gevonden wortelmateriaal vaak ook niet zeker is of het nu echt om zeggenwortels gaat, of om wortels van andere soorten. Hierdoor is ook de overgang via mesotroof naar oligotroof veen niet steeds duidelijk getraceerd. Feit is dat het sedimentgehalte sterk afneemt en dat uiteindelijk oligotroof veen gevormd wordt, waarin de overblijvende, herkenbare resten afkomstig zijn van planten uit voornamelijk door regenwater gevoede hoogvenen. Deze zijn bij microscopische analyse ook in tot groep 4 gerekend veen een aantal malen herkend. In groep 4 bevindt zich dus ook al een overgang naar het daarboven gelegen, overwegend oligotrofe pakket, hoewel er in dit onderzoek weinig veenmosresten in zijn herkend. Dit sluit niet uit dat het wel een belangrijke component van het veen in klasse 4 kunnen zijn geweest.

Op een wat hoger niveau in het pakket, waar het veen iets jonger is, en in lagen waarin door andere, onbekende oorzaken het materiaal beter bewaard is gebleven, zijn veenmossen wel als belangrijke component gevonden. In de bovenste lagen van het Hollandveen is veel Wollegras gevonden, samen met resten van wortel- en takhout van heideachtigen. Dit veen is door ons als groep (stratigrafische klasse) 2 onderscheiden. Het is waarschijnlijk dat de veenvorming in deze laag al beïnvloed is door landgebruik ter plaatse of in de omgeving. De in het veen aangetroffen lagen met een meer veraarde veencomponent wijzen hier op en het volgt ook uit archeologisch en paleobotanisch onderzoek in Noord-Holland.

Bovenop het oligotrofe veenpakket van groep 2 bevindt zich een humeus, iets knippig (sterk kleilig, slecht gedraineerd, gevoelig voor zwellen/krimpen) kleidek, met op de overgang, deels in het oligotrofe veen, veel wortelstokken van riet. Het kleidek is als type 1 onderscheiden. Hierin bevindt zich het begin van een nieuwe verlandingsfase die echter door ontwatering tot staan is gebracht.

Een opvallende en belangrijke storing in het Hollandveenpakket is het voorkomen van klei- en andere afwijkende laagjes, in dikte variërend van ca. 1 mm tot enkele centimeters, soms 10-15 cm. Het niveau, waar zich dit voordoet ligt tussen dat van de monsters van de groepen 4 en 2 en de desbetreffende monsters zijn door ons als groep 3 onderscheiden. Zeker een deel ervan is gevormd onder ouder veen, als dit bij opkomend water is losgescheurd en

opgedreven, wellicht op plaatsen waar door de overgang naar veenmosveen geen wortelnet aanwezig was dat voor verticale samenhang zou kunnen zorgen. Rondom de kleilaagjes en in de andere, op ongeveer hetzelfde niveau voorkomende afwijkende laagjes (zie hoofdstuk 3), is vaak een enigszins okerachtige slappe pasta en “aangroei” op de veenvezeltjes gevonden, mogelijk Pyriet of Sideriet (zie hoofdstuk 3). Direct boven en onder deze laagjes worden resten gevonden van veenmossen, Eenarig wollegras, heideachtigen, berk en Veenbloembies (*Scheuchzeria*), die kenmerkend zijn voor oligotroof veen, maar ook van soorten van overgangsveen (andere veenmossen, Rood Viltmos) en zelfs van voedselrijk veen (Moerasvaren, Riet). We stellen ons hierbij voorlopig voor dat in het veenlandschap op sommige plaatsen de toplaag van het veen is opgedreven, terwijl in de nabijheid ook poelen en plassen bestonden, waar geen veen is gaan drijven of waar zich al half-drijvend veen met wortelmatten van zeggen of Galigaan (“kraggen”, “trilveen”) bevond. Op het opgedreven veen en in de met buitenwater “ververste” plassen kunnen tijdelijk planten van basen- en voedselrijker veen een nieuwe impuls gekregen hebben en hun wortelstelsels in het oudere veen en de daaronder liggende scheur hebben uitgebreid. Er is dan van onder naar boven een opvolging ontstaan van oud veen, een klei of pyrietlaagje, opgedreven oud (voedselarm) veen met wortelresten van een meer eutrofe levensgemeenschap, naar iets meer meso- of eutroof zeggenveen, naar boven weer overgaand in oligotroof veen. Waar het “opgesprongen” veen een groot drijfvermogen had, is een dergelijke voedselrijke inschakeling misschien niet opgetreden, of zo onbelangrijk geweest, dat die nauwelijks of niet in het veen herkenbaar is. Met het huidige onderzoek kan over deze zaken nog geen uitspraak gedaan worden.

In sommige sleufontsluitingen zijn in het veld een “houtig niveau, takken tot 8 cm doorsnede”, “takken 3 cm doorsnede” en “veel grote houtblokken” aangetroffen, maar in de monsters is maar één keer bos- of broekveen aangetroffen, waarin onder meer beschorst takhout van berk. Dit betrof in het algemeen monsters uit groep 3 of groep 2. Vondsten van hout in groep 4 kunnen berusten op verwisseling met resten van de stengelbasis van Galigaan (in het lab aangetroffen) waarin de kenmerkende vaatbundels niet zijn gezien.

#### 4.4 In de monsters van Uitdam herkende botanische veensoorten

##### 4.4.1 Inleiding

In de Tabel 4.1 zijn de veensoorten en overige organische grondsoorten volgens SBB en GCV opgenoemd. De beoordeling van de monsters is uitgevoerd door Ane Wiersma, Gilles Erkens en Geert van Wirdum. Microscopische controles en fotografie zijn door laatstgenoemde uitgevoerd, die ook de expertise met betrekking tot botanische veensoorten inbracht. Wij merken hierbij op dat:

- Er (nog maar) weinig ervaren veenbeschrijvers zijn, en dat de individuele expertise verschilt voor wat betreft de veensoorten, de beschrijvingscondities en de beschrijvingsvoorschriften waarmee ze het meest in aanraking zijn geweest;
- Beschrijving van niet verse monsters, die al aan geotechnische proeven zijn blootgesteld lastig is en normaal gesproken vermeden wordt;
- De hier ingebrachte ervaring vooral berust op veldbeschrijving in 10-20 cm brede gestoken profielen van oppervlakteveen (nauwelijks belast veen tot 2 m diepte), waarbij kleur en geur en de verandering daarvan bij blootstelling aan de lucht belangrijke aanwijzingen geven en waarbij het vaak mogelijk is grotere, samenhangende stukken van wortelstokken en andere componenten te onderzoeken, dan in de nu beoordeelde monsters. Wij hebben geprobeerd ons bij de beoordeling enigszins “traditioneel” op te



stellen, bijvoorbeeld in het gebruik van de term zeggeveen en in de beoordeling van de amorfie;

- De foto's, hoewel gemaakt met een relatief eenvoudige compactcamera, maken veel zichtbaar, dat zonder vergroting en onder de belichting in de beschrijvingsruimte in de iets ingedroogde, "donkerbruine modder" onopgemerkt blijft. Voor een optimale beschrijving zou het nuttig zijn zulke beelden al tijdens de beschrijving te gebruiken, zodat meer gericht op bepaalde elementen in het veen gelet kan worden; nu zijn soms achteraf op de foto's dingen gezien, die dan zeker aanleiding geweest zouden zijn om sommige monsters nog iets beter te bekijken, wat wellicht soms tot een andere beoordeling had geleid.

Hierna worden de in Uitdam gevonden veensoorten afzonderlijk besproken, gerangschikt naar de hierboven genoemde trofieklassen.

**Tabel 4.1 Organische grondsoorten volgens SBB (Bosch, 2000) en GCV (TAW, 1996)**

Naam	SBB	Opmerkingen	GCV
Hout	HO	Hout kan ook als in een andere grondsoort voorkomende plantenrest (hout, eikenhout, elzenhout) worden opgegeven.	Botanische veensoort, nader onderscheidbaar naar boomsoort (eik, els, berk, wilg)
Detritus	DET	Deze benamingen en de aanduidingen molm, meermolm, verslagen veen of sapropeel volgens GCV worden niet eenduidig gehanteerd.	Detritus wordt in GCV niet genoemd. Wel het verwante begrip sapropeel: "slib, dat wisselende hoeveelheden onherkenbaar organisch materiaal bevat, afgezet onder anaerobe condities".
Dy	DY		"donker, gelei-achtig slib van organisch materiaal, neergeslagen in zoet water".
Gyttja	GY		"zwart slib, waarin organische bestanddelen herkenbaar zijn, afgezet in voedselrijke condities".
Veen	V	Veen is volgens SBB, anders dan volgens NEN 5104 en GCV, een andere grondsoort dan hout, detritus, dy en gyttja. Het belangrijkste motief hiervoor is de (veelal) allochtone herkomst van deze andere grondsoorten. De term veen blijft volgens deze opvatting beperkt tot organisch materiaal van een ooit ter plaatse aanwezige levensgemeenschap.	
<i>Bosveen</i>	BSV	Omdat hout volgens SBB een aparte grondsoort is, is niet duidelijk op welke grond bosveen wordt onderscheiden.	
<i>Heideveen</i>	HEV	Volgens GCV eventueel nader aan te duiden als dopheide- of struikheideveen	
<i>Mosveen</i>	MOV	Omvat volgens SBB niet veenmosveen!	Onderscheidbaar in Sphagnum (veenmos), Hypnum en Bryales.
<i>Rietveen</i>	RIV	Veel rietresten stammen van het wortelstelsel, dat zich in een veenlaag kan bevinden, die (lang) voor het voorkomen van riet ter plaatse werd gevormd.	
<i>Scheuchzeria-veen</i>	SZV		Volgens GCV identiek met waterplantenveen. Scheuchzeria (Nederlandse naam: Veenbies) is geen echte waterplant.
<i>Veenmosveen</i>	VMV		Kan volgens GCV mosveen worden genoemd.
<i>Wollegrasveen</i>	WOV	In het veen gaat het meestal om de resten van Eenarig wollegras, dat hoge pollen vormt, waartussen veen van een andere aard en soms ook leeftijd kan zitten.	
<i>Zeggeveen</i>	ZEV	Veel zeggeresten stammen van het wortelstelsel, dat moeilijk positief onderscheiden kan worden van dat van verschillende andere plantensoorten en dat zich in een veenlaag kan bevinden, die (lang) voor het voorkomen van de zegge ter plaatse werd gevormd.	
Mull, veraard veen		Niet op grondsoortniveau onderscheiden	"Goed verkneeld mengsel van organisch en anorganisch materiaal, excrementen".
Molm			"Geheel vergane organische massa, mest, rottingslik".
Meermolm, verslagen veen			"Door de inwerking van golven en stroming omgewerkt veen".

#### 4.4.2 Eutroof en mesotroof veen

**Rietveen.** Rietbegroeiingen komen voor in kleimoerassen, voedselrijk (eutroof) laagveen en eventueel ook op natte zandbodem. De wortelstelsels van riet kunnen zowel in de onderliggende bodem als een in het water drijvende, veenvormende mat (kragge of zodde) voorkomen. Rietveen wordt in de eerste plaats herkend aan de dikke wortelstokken met glanzende opperhuid, in het veen vaak platgedrukt aanwezig. Als deze een belangrijk aandeel in het veen hebben, is de aanduiding rietveen op zijn plaats. Deze wortelstokken zijn echter vaak gevormd in ouder veen met een andere oorsprong, zodat de interpretatie niet altijd gemakkelijk is. Aan het “oorspronkelijke” bodemoppervlak, boven de laag met wortelstokken, kunnen blad- en stengelresten bewaard gebleven zijn, maar deze komen in het veen, anders dan in klei-inschakelingen, minder vaak prominent voor. In recent en subrecent veen is regelmatig te zien dat de wortelstokken zich aan de onderzijde van een “opgesprongen” bodemlaag, bijvoorbeeld van zegge- of veenmosveen, bevindt, waarop als gevolg van toegenomen invloed van grond- of oppervlaktewater riet is gaan groeien. Omgekeerd kan de bodem in rietvegetaties bij afname van de invloed van grond- en oppervlaktewater begroeid raken met veenmossen en andere planten van basen- en voedselarme ecosystemen. Bij microscopisch onderzoek kunnen de veenmossoorten soms uitsluitel geven over de procesgang.

**Zeggeveen.** Zeggeveen wordt vooral herkend aan de worteltjes van verschillende zeggensoorten, die echter met het blote oog niet goed van veel andere worteltjes van grassen en cypergrassen te onderscheiden zijn. Dit veen kan daarom meer objectief als worteltjesveen (radicellenveen) worden aangeduid, waarmee het structuurkenmerk, niet de plantengroep, als basis voor de benaming wordt gekozen. Belangrijk bijkomend kenmerk is de aanwezigheid van uitlopers, die dun of iets dikker kunnen zijn. Op grond hiervan kan onderscheid gemaakt worden naar de herkomst uit een vegetatie met grote zegge (Magnocaricion) of kleine zegge (Parvocaricion), die een verschillend milieutype aanduiden. Grote zeggen groeien vooral in voedselrijk (eutroof), kleine zeggen in matig voedselrijk (mesotroof) of zelfs voedselarm (oligotroof) milieu. In de praktijk komt veel moeilijk te benoemen zeggeveen voor. Zeggen behoren tot de cypergrassen, waartoe onder meer ook biezen, Galigaan en wollegrassen behoren. In veel opzichten lijken de wortelresten van de verschillende soorten op elkaar, en zijn ze alleen te onderscheiden, wanneer veelvuldig meer karakteristieke resten worden gevonden, zoals de stengelbasis van Galigaan, de uitgesproken “harige” basale bladscheden van Eenarig wollegras, of urntjes of zaden van zeggesoorten of Galigaan. Hierdoor wordt de term zeggeveen, zonder dat de gebruikers zich dit altijd bewust zijn, enigszins een vergaarbak voor veen, waarin behalve worteltjes en enkele uitloperresten geen andere resten te herkennen zijn, laat staan dat duidelijk is van welke plantensoorten die dan afkomstig zijn. Wij hebben desondanks in dit onderzoek het bestaande gebruik van de term gevolgd. Net als in het geval van rietveen kan zeggeveen samen voorkomen met soorten van oligotrofe, veenvormende levensgemeenschappen. Ook in dit geval kan het zowel om regressie (meso- of eutroof verdringt oligotroof), als om successie (meso- of eutroof ontwikkelt zich tot oligotroof) gaan.

#### 4.4.3 Oligotroof veen

**Heideveen.** Heideveen wordt vooral herkend aan de aanwezigheid van betrekkelijk dunne, enigszins kronkelige, “takjes” met een kenmerkende oppervlaktestructuur. Niet altijd zijn dit resten van takjes; het kan ook wortelhout zijn. In wat sterker verweerd veen zijn het soms de enige nog met het blote oog herkenbare resten, terwijl het tussenliggende veen wellicht in

hoofdzaak veenmosveen is. De naam heideveen is dan enigszins misleidend, hoewel het voorkomen van veel heide wel op een iets drogere fase van het hoogveen wijst. Heideveen kan ook ontstaan uit oligotroof veen, dat door oppervlakkige drainage geschikt is gemaakt voor landbouw of dat intensief begraasd is. Enkele heideachtigen, zoals de veenbes-soorten, komen in zulke situaties weinig voor. Worden deze wel aangetroffen, dan is dat een duidelijke aanwijzing voor de herkomst uit een nat ecosysteem.

**(Veen)mosveen.** De namen mosveen en veenmosveen worden vaak door elkaar gebruikt. In SBB is de naam mosveen gereserveerd voor veen dat bestaat uit de resten van mossen die geen veenmossen (*Sphagnum*) zijn. Dit kan zeer uiteenlopend in soortensamenstelling zijn, afhankelijk van de basen- en voedselrijkdom van het vormingsmilieu, van eutroof tot oligotroof en van zeer kalkrijk tot extreem zuur. Op afzettingsschaal komt zulk mosveen echter veel minder voor dan veenmosveen. Ook in Uitdam zijn resten van zulke andere mossen aangetroffen, maar niet in een mate, die aanleiding gaf hele monsters als zodanig te onderscheiden. Veenmosveen is in niet sterk verweerde toestand goed herkenbaar aan de ruime aanwezigheid van veenmosblaadjes en stengels en aan de kleur. Binnen het veenmosveen bestaan grote verschillen in structuurkenmerken en kleur, die vooral met de verweringsgraad en de soortensamenstelling te maken hebben. De verschillende veenmossoorten kenmerken ook verschillende milieutypen. De meeste veenmossen zijn kenmerkend voor standplaatsen met een grote invloed van regenwater (hoogveen, oligotroof en meestal basenarm). Sommige veenmossen komen ook in oorspronkelijk basenrijk veen voor ("laagveen", in het algemeen ook voedselrijk, dus eutroof) geassocieerd met zegge en riet. Zij kunnen daarin als een aanwijzing worden opgevat van een overgang naar een oligotrofe levensgemeenschap. Uit de verveningspraktijk en uit de geobotanische veenbeschrijving stammen onderverdelingen in het veenmosveen, die ook van belang zijn voor de grondsoortbeschrijving in de geologie, maar vooral goed toepasbaar zijn in weinig belast, niet verdrongen veen. In dit onderzoek zijn veenmossoorten in een aantal monsters vastgesteld door microscopische controle.

#### 4.4.4 Overige veensoorten

**Bos- of broekveen.** Één veenmonster is benoemd als bos- of broekveen. Sommige veenafzettingen zijn gevormd in bos met forse bomen. In Nederland komt dit eigenlijke bosveen vooral voor in de invloedssfeer van rivieren (Erkens et al., 2011). Ook kan het voorkomen dat hout van bomen, die vóór de veengroei ergens aanwezig waren, in het veen zijn "verdrongen". In deze situatie, die het gevolg is van "vermorsing", gaat het meestal om een laag met stronken en stammen, niet om echt bosveen. Tenslotte zijn er veenvormende levensgemeenschappen met een open tot gesloten bos- en struweelvegetatie, met, ongeacht de ouderdom van de bomen, weinig zwaar hout. In het daar gevormde broekveen worden wel met enige regelmaat takresten en soms wat zwaarder wortelhout gevonden, maar in smalle boorkernen kan het hout ook gemakkelijk gemist worden. Er kan een uitbundige bodembegroeiing zijn van grote zeggen, riet, Gele Lis en andere soorten, waarvan sommige in het veen goed herkenbare resten achter laten. Broekveen wordt daardoor gemakkelijk gemist, maar is herkenbaar aan de brokkelige aard en, bij zorgvuldig onderzoek, andere resten, zoals zaden en katschubben. In alle gevallen is een boommonster van enkele centimeters breed en ca. 15 cm lang nauwelijks geschikt om een duidelijke uitspraak te doen over het voorkomen van bosveen. In het beoordeelde monster werden takresten met een doorsnede van ca. 1-2 cm gevonden; de benoeming als broekveen leek het meest toepasselijk. Op een enkele plek is hout aangetroffen in de inspectiesleuven (zie hoofdstuk 3) SBB schrijft voor hout als afzonderlijke grondsoort te benoemen (dit is vooral belangrijk voor het beschrijven van kernen die lange trajecten uit hout bestaan). Er ontstaat dan enige

onduidelijkheid, wanneer van bosveen gesproken kan worden. Broekveen wordt in SBB niet afzonderlijk onderscheiden. In de praktijk van het bodemkundig- en geologisch onderzoek, worden veenafzettingen, waarin meer dan 30% hout voorkomt als bosveen benoemd, maar hetzelfde veen kan, afhankelijk van de samenstelling van het tussenliggende veen, met enig recht ook zeggeveen met nevenbestanddeel hout worden genoemd.

#### 4.5 Opvallende plantensoorten in het veen

Naast de benoeming van de veensoort zijn in verschillende gevallen afzonderlijk plantensoorten herkend. Enkele daarvan zijn:

**Galigaan (*Cladium mariscus*).** Galigaan is een manshoge zegge-achtige plant. Hij vormt wortelstokken, die soms goed in het veen herkenbaar zijn. Duidelijker zijn echter de stengelbases, die op doorsnede in het centrum vaak roodgekleurde vaatbundels vertonen en soms omringd zijn door verschillende bladbases. Van buiten lijken en voelen de resten enigszins houtachtig. Ook de zaden van Galigaan zijn, afhankelijk van de verweringsgraad, goed herkenbaar, maar in dit onderzoek zijn ze maar weinig en niet met zekerheid aangetroffen. Wanneer veel Galigaanresten aanwezig zijn, kan van galigaanveen gesproken worden. Galigaan komt voor in eutrofe, vaak bijzonder kalkrijke en soms brakke moerassen, waarin al dan niet veen wordt gevormd. Hij kan stand houden tot in oligotrofe veengemeenschappen, maar blijft dan meestal klein. Meer foto's van Galigaan in het veen zijn opgenomen in de beschrijving van type 4.



Iets rode, touwachtige vaatbundels in de stengelbasis van Galigaan. (Boring T03, monster 99AA; 168-183 cm –mv)

Doorsneden van stengelbases van Galigaan, met daarin de vaatbundels en rondom nog resten van bladscheden.

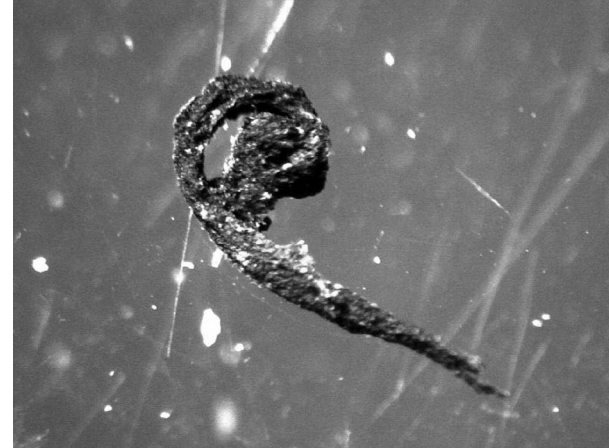
(Boring T02, monster 65CA; 237-252 cm –mv)

**(Moeras)varen (*Thelypteris palustris*).** In veenvormende levensgemeenschappen kunnen verschillende varensorten voorkomen, die plaatselijk en tijdelijk het belangrijkste element in de vegetatie kunnen zijn. In het veen kunnen de sporenkapsels (sporangia) en jonge, gekrulde bladtoppen goed worden herkend, maar die zijn klein en lang niet altijd talrijk. Zowel in als buiten de kapsels kunnen onder de microscoop sporen worden herkend aan hun maat, vorm en oppervlaktestructuur. Moerasvaren heeft stekelige sporen, maar sommigen menen dat de stekels niet altijd herkenbaar blijven. Aan de veenmassa dragen de zwarte wortelstelsels en bases van bladstelen meer bij, soms zelfs zodanig, dat van (moeras)varenveen gesproken kan worden (niet een van de standaardsoorten, zie Tabel 4.1). Microscopisch zijn ze te herkennen aan de vaatbundels met zogenaamde ladder-tracheïden (watertransportcellen). Met het blote oog is het echter niet altijd duidelijk of een

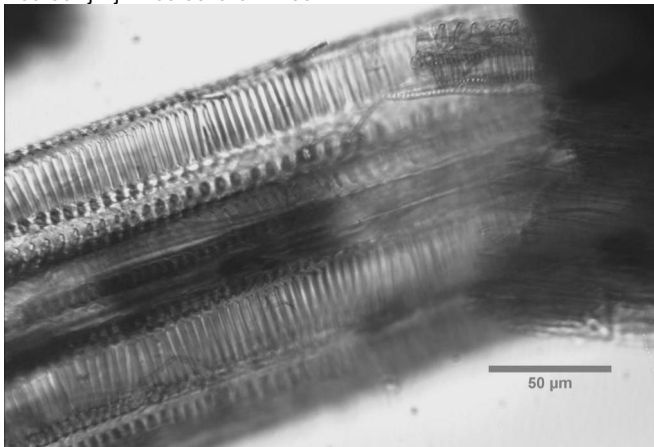
donkergekleurd wortelnet al dan niet van varens afkomstig is. Een andere foto van Moerasvaren in het veen is opgenomen in de beschrijving van type 3.



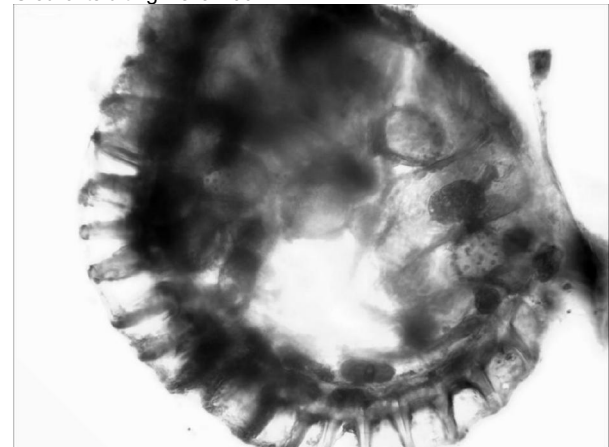
Varenwortelstokken en –bladstelen met tracheïdenbundels, waarschijnlijk Moerasvaren. M50



Top van een varenblad, waarschijnlijk Moerasvaren. Sleufontsluiting I-O 52-60

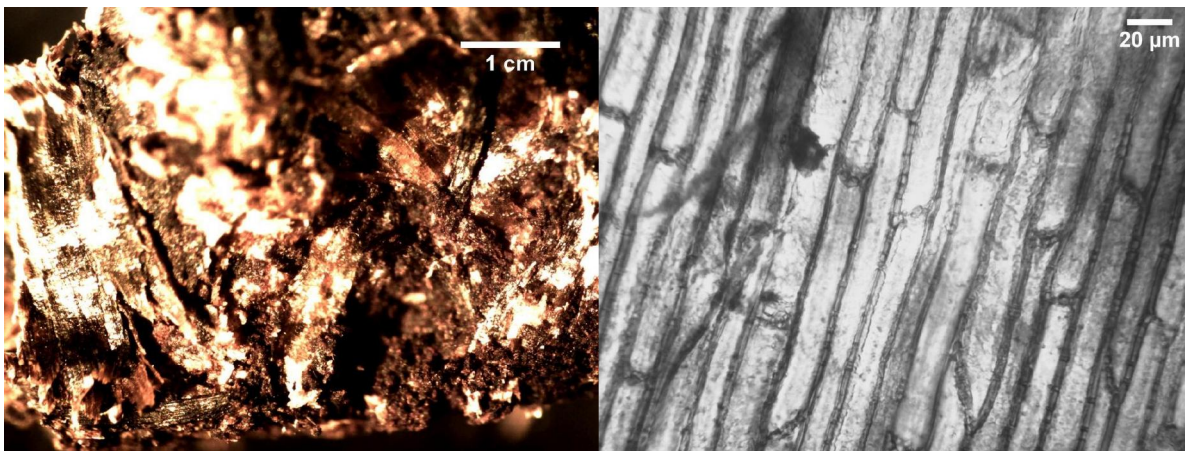


Bundel laddertracheïden (waarschijnlijk Moerasvaren) uit veen Uitdam. (m50).



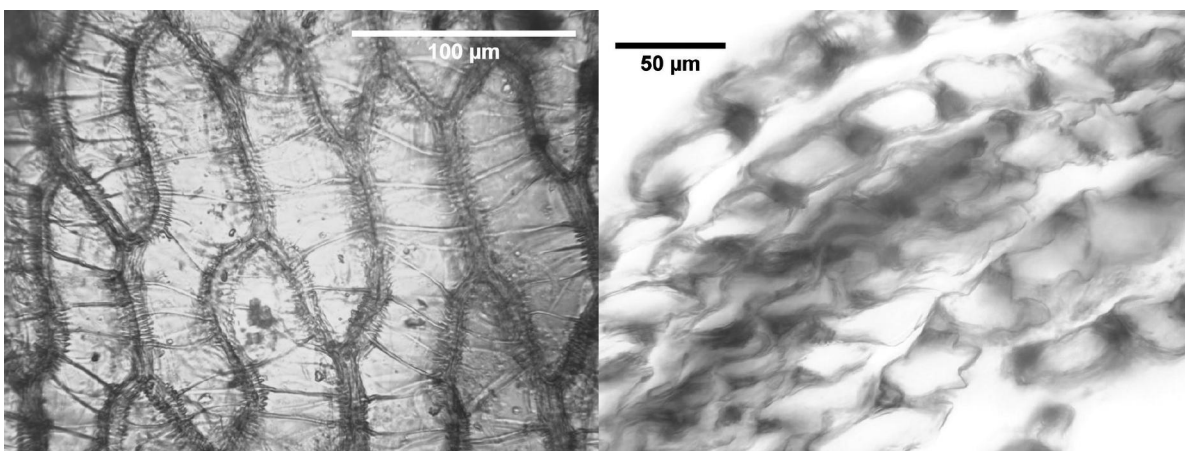
Sporenkapsel Moerasvaren. De doorsnede van het kapsel is ongeveer 0,15 mm. Enkele stekelige sporen zijn zichtbaar. Gutsboring proefterrein N01, 16-3-2012; 1,4-1,5 m – mv.

**Veenbloembies (*Scheuchzeria palustris*).** Veenbloembies vormt aan de rand van met water gevulde slenken in het hoogveen uitgebreide stelsels van dikke worteluitlopers, zoals ook Waterdrieblad, of, in eutroof milieu, riet doen. Als een dicht vlechtwerk hiervan bewaard gebleven is, is dit meestal goed herkenbaar. Bij meer incidentele resten en minder grondige analyse is, zeker in verweerd veen, verwarring met riet mogelijk. Onder de microscoop geeft het celnet uitsluitel. Veenbloembies is enkele keren in het Uitdamse veen aangetroffen. Een enigszins dicht vlechtwerk van wortelstokken is alleen in een belast monster onder de kruin van de dijk gevonden en dit werd pas echt duidelijk na veelvuldig splijten van het veen en microscopisch onderzoek van het weefsel. Hier zou gesproken kunnen worden van Scheuchzeriaveen, één van de standaard veensoorten (Tabel 4.1), maar het leek niet verstandig deze naam nu voor de indeling te gebruiken, waar weinig zekerheid bestaat of het niet in andere monsters over het hoofd gezien is.



Veenbloembiesresten: links op een spleetvlak in het veen, rechts celnet rhizomepidermis (monster uit boring in kruin van de Markermeerdijk bij Uitdam)

**Veenmossen (*Sphagnum* diverse soorten).** Er zijn verschillende soorten mossen gevonden, voornamelijk veenmossen. Veenmossen vormen vaak het hoofdbestanddeel van oligotroof veen. Als het veen sterk verweerd is, is echter niet altijd meer duidelijk wat de herkomst van het plantenmateriaal is. In het Uitdamse veen kwamen veenmonsters voor, die hoogstwaarschijnlijk vooral door veenmossen gevormd veen bevatten, maar waarvan dat zonder verder diepgaand onderzoek onvoldoende zeker kon worden vastgesteld. Vooral in het bovenste veen (typen 2 en 3) werden echter wel regelmatig veenmosresten vastgesteld. Veenmossen bevatten in de bladen twee verschillende soorten cellen, namelijk de grote watercellen, met poriën in de celwand, waardoor water kan worden opgezogen, en de tussen de watercellen liggende, veel kleiner bladgroencellen. Ook de takken en stengels van het veenmos zijn deels of geheel omhuld met grote, deels poreuze, waterhoudende cellen. Van de aangetroffen soorten is in het bijzonder *Sphagnum austinii* een uitgesproken hoogveensoort. *Sphagnum papillosum* en *Sphagnum molle* komen ook in andere veentypen en in vochtige heide voor. *Sphagnum fallax* is dikwijls overheersend in de beginfase van hoogveenontwikkeling. *Sphagnum teres* is bij uitstek een soort van laagveen, al kan het voorkomen ook worden opgevat als een aanwijzing van overgangsvveen, dat de ontwikkeling van hoogveen inleidt.



*Sphagnum austinii*. Links celnet van een takblad; de grote watercellen liggen tussen de veel smallere bladgroencellen. Waar de watercellen tegen de bladgroencellen aanliggen, is de celwand aan de binnenkant bezet met enigszins kamvormige versterkingslijsten. Rechts doorsnede door een pakketje takbladen in het veen. De watercellen zijn enigszins "gekreukeld"; ertussen liggen de driehoekige bladgroencellen. Boring 15d, monster 30BA (35-50 cm beneden maaiveld).

**Vossenbes (*Vaccinium vitis-idaea*).** Vossenbes behoort tot de veenbessen. Sommige soorten veenbes zijn redelijk goed herkenbaar aan de kruipende stengelresten, die in levende toestand op het veenmosoppervlak rusten en daar geleidelijk door overgroeid raken. Ook worden regelmatig goed herkenbare blaadjes gevonden. In het Uitdamse veen zijn wel kruipende stengelresten gevonden, maar het enige duidelijke blad, dat gevonden is, is vermoedelijk van Vossenbes. Vossenbes is een lage, niet kruipende struik, die vaak in de overgang tussen veenmosveen en berkenbroekveen voorkomt en in continentaal klimaat in boshoogvenen.



Blaadje, vermoedelijk van Vossenbes. De vondst was opmerkelijk, omdat in de overige veenmonsters nauwelijks herkenbare bladresten zijn gezien en omdat er toch een grote bladproductie moet zijn geweest. Dit wijst erop dat bijzondere omstandigheden in het lokale milieu bepalend kunnen zijn voor het al dan niet bewaard blijven van resten.

**Waterdrieblad (*Menyanthes trifoliata*).** Waterdrieblad is met enige ervaring goed herkenbaar aan de zaden. Deze zijn echter lang niet altijd aanwezig. In het Uitdamse veen zijn ze sporadisch gezien. Het meest karakteristiek, en een duidelijke aanwijzing voor Waterdrieblad als belangrijke veenvormer, is de veelvuldige aanwezigheid van wortelstokken, die net als het geval is bij riet een zwevend vlechtwerk aan of juist onder het wateroppervlak kunnen vormen. In dit geval kan eventueel van waterdriebladveen gesproken worden (niet een van de standaard onderscheiden veensoorten, Tabel 4.1). Waterdrieblad komt vooral voor in vegetaties van mesotroof milieu, waarin kleine zegge een belangrijke component is, maar het komt ook veel voor in de oligotrofe, waterhoudende slenken van Atlantische hoogvenen. Een foto van wortelstokken, die vermoedelijk van Waterdrieblad (enigszins atypisch en vooral ongewoon donker; niet microscopisch gecontroleerd) is gegeven in de bespreking van stratigrafische klasse 4.

#### 4.6 Consistentie en amorfiteit

Volgens de SBB moet van veengronden de amorfiteit en eventueel ook de consistentie worden bepaald (Bosch, 2000). Deze bepalingen moeten op een vers monster gedaan worden. Alleen om die reden al is de toepassing op de al aan andere proeven onderworpen en deels uitgedroogde monsters van weinig waarde. Beide bepalingen grijpen terug op vereenvoudigingen van de bepaling van de humificatiegraad volgens Von Post (zie SBB en GCV). Consistentie en amorfiteit hangen zowel samen met de interne opbouw uit deeltjes (textuur; zie ook vezelgehalte) van het veen, als met kenmerken van aggregaten hiervan (structuur) en met colloïdchemische kenmerken. In de literatuur is men het er in het algemeen over eens dat de methode van Von Post, mits zorgvuldig toegepast, in vergelijking tot andere methoden nog steeds optimaal is voor wat betreft reproduceerbaarheid, zeggingskracht en



bepalingsefficiëntie (o.a. Verry et al., 2011). Met de Nederlandse bepalingvoorschriften wordt in deze opzichten echter geen maximaal resultaat behaald. Bovendien is van belang dat, zoals hierna besproken wordt, de methode niet optimaal afgestemd is op toepassing op de verdrongen en belaste West-Nederlandse venen. In de door TNO beheerde DINO database zijn van veengronden maar weinig amorfiteits- en consistentieschattingen aanwezig (Erkens et al., 2011). Bij de huidige routine van veenbeschrijving is het bovendien moeilijk de bepalingen goed te doen, omdat breken en knijpen van het verse monster vaak strijdig zijn met andere gewenste bepalingen.

Naast de termen amorfiteit en consistentie komen verweringsgraad, humificatiegraad, afbraak en veraarding voor. Het is belangrijk verschil te maken tussen afbraak, veraarding en humificatie. Verwering kan dan als een algemene term worden opgevat. De amorfiteit, letterlijk: mate van vormeloosheid, van het veen neemt toe naarmate plantendelen uiteenvallen in weefselfragmenten en naarmate celwanden in die fragmenten vergaan of vervloeien. Voor een deel zijn hier fragmentatie, o.a. door dierlijk leven en vorstinwerking, en verbranding onder invloed van zuurstof uit de lucht (oxidatie) voor verantwoordelijk. Deze processen worden wel samengevat als afbraak, wat vooral plaats vindt in de niet geheel uitgedroogde bovenste, doorwortelde, niet zure bodemlaag. Afbraak uit zich bodemkundig door veraarding, waarbij het veen in kleine, zwarte, nat smeerbare aggregaten uiteenvalt onder gelijktijdige vorming van humus. Waar veraarding in een veenpakket belangrijk is, wordt in het algemeen nauwelijks of geen nieuw veen meer gevormd. Veraarding grijpt daar dus aan op eerder gevormd, niet veraard veen. Onder de grondwaterspiegel is nauwelijks veraarding mogelijk en kan actieve veenvorming plaats vinden. Hier vind wel een verdere humificatie plaats, waarbij sommige celwanden sneller dan andere hun structuur en bepaalde bestanddelen verliezen, sommige organische verbindingen overblijven en sommige nieuwe worden gevormd. In de loop van de tijd neemt hierdoor de humificatiegraad van het veen toe. Met de Von Post-methode kan dit beoordeeld worden door monster uit te knijpen. De kleur van het uitgeknepen water verandert van kleurloos naar geelbruin tot donkerroodbruin bij toenemende humificatie. Tegelijkertijd houdt sterker gehumificeerd veen het water ook sterker vast, totdat er helemaal geen water meer uitgeknepen kan worden. De verandering in de cellulaire weefsels uit zich erin dat het materiaal steeds meer kneedbaar, pasta-achtig wordt, en uiteindelijk gemakkelijk tussen de vingers door geknepen kan worden of zelf ertussendoor vloeit. De mate waarin dit gebeurt, kan procentueel geschat worden door het uitgenepen materiaal in de andere hand op te vangen. In zeer sterk gehumificeerd veen zijn met het blote oog en zelfs onder microscoop nauwelijks meer plantenresten te herkennen.

In veel veensoorten is het uitgeknepen water bij toenemende humificatie ook troebeler. Er komen dan weefseldeeltjes of humusaggregaatjes mee. Dit is vooral het geval als het veen ook gemakkelijk afbreekbaar materiaal, vooral bladmateriaal bevat, wat meer voorkomt in eutrofe en gedraineerde venen dan in oligotrofe, met water verzadigde, venen. Bij de beschrijving van profielen in hoogveen in Oost-Nederland, dat een min of meer continue ontwikkeling heeft doorgemaakt, levert deze beoordeling daardoor bruikbaarere resultaten op dan in het West-Nederlandse veen, dat aan grote veranderingen heeft blootgestaan. In het laatste geval kan oorspronkelijk oligotroof, matig tot sterk gehumificeerd veen later gedraineerd en vervolgens door brak water overspoeld zijn, waarbij onder invloed van het andere watertype de pasta een deel van zijn colloïdale samenhang verliest en uiteindelijk als kleine in het water zwevende aggregaatjes zelfs met het grondwater kan worden meegevoerd. In het veen vormen de fragmentjes een detritus-achtige component. Het "oorspronkelijke" zure en oligotrofe, door humus gelig gekleurde veenwater kan dan volledig vervangen zijn door kleurloos, maar door de weefselfragmentjes en humusaggregaatjes, troebel grondwater. Voor zover ons bekend is er geen duidelijk inzicht in de mate waarin dit

en verwante verschijnselen voorkomen en de huidige beschrijvings- en onderzoekspraktijk laat een doelmatige beoordeling ervan wellicht ook niet toe.

#### 4.7 Macroresten en pollen

Macroresten in het veen zijn resten waarvan de aanwezigheid met het blote oog kan worden vastgesteld, maar waarvan de identificatie, zeker als ook naar een kwantificering wordt gestreefd, in veel gevallen monstervoorbereiding en het maken van preparaten en microscopisch onderzoek vergt. Dit laatste geldt ook voor het onderzoek van pollen (stuifmeel), diatomeeën (kiezelwieren) en schalamoeben, waarvan de aanwezigheid alleen microscopisch kan worden vastgesteld. Met dergelijk onderzoek kan een goed bruikbaar en representatief beeld worden verkregen van de ontwikkeling van het veenoppervlak onder invloed van klimaatsschommelingen en externe, storende invloeden zoals mariene transgressies en landbouw, zowel lokaal als in de omgeving. Met begrip hiervan is het gemakkelijker met behulp van al aanwezige bodem- en ondergrondkaarten en enkele representatieve boringen een uitspraak te doen over de kans op voorkomen van verschillende veensoorten in een gebied. Een dergelijk onderzoek is in dit project overwogen, maar zou, zelfs op alleen oriënterend niveau, ver buiten het beschikbare budget en de beschikbare tijd gegaan zijn. Niettemin zijn om de betrouwbaarheid van de beoordelingen met het blote oog te ijken en te vergroten toch nog van betrekkelijk veel monsters macroresten microscopisch onderzocht, zij het zonder systematische monstervoorbereiding. De resultaten houden daardoor een enigszins anekdotisch karakter. Hoewel bij het nalaten van monstervoorbereiding diatomeeën en vooral pollen weinig opvallen, was het opmerkelijk dat in uitstrijkmonstertjes maar weinig pollen en geen diatomeeën werden gezien, ook niet in of in de nabijheid van ingeschakelde kleilaagjes.

#### 4.8 Vezelgehalte (vezeligheid)

Het vezelgehalte is als zodanig een vaag gedefinieerde term. Bij beoordeling met het blote oog wordt het begrip vezel al snel beperkt tot structurelementen met een dikte tussen ca. 0,1 en 2 mm en aanzienlijk, bijvoorbeeld meer dan 5 keer, langer dan dik. Dit begrip kan naar boven worden opgerekt, zodat ook grotere weefselfragmenten en zelfs wortelstukken van riet eronder vallen. In het veen zijn echter ook aanmerkelijk kleinere vezels aanwezig, waarbij niet alleen aan dierlijke of plantaardige cellulaire structuren, maar ook aan moleculaire en colloïdale structuren gedacht moet worden. In de aanwezigheid en stabiliteit van deze kleine fractie bestaan tussen verschillende venen grote verschillen. In dit project is de beoordeling na handmatig zeven overwogen (zie hoofdstuk 2), zodat alleen het gehalte aan cellulaire vezels boven een bepaalde dikte zou worden bepaald. Kenmerken, die samenhangen met het gehalte aan kleinere vezels, komen zo automatisch terecht bij de sleutelwoorden textuur en structuur.

Een reproduceerbare bepaling van het vezelgehalte bleek met de beschikbare middelen en tijd in dit project niet haalbaar, zeker omdat de monsters ook al eerder aan proeven onderworpen waren en daardoor deels samengedrukt en uitgedroogd waren. Over het algemeen kan worden opgemerkt dat hier geen echt bevredigende methode voor bestaat (GCV; TAW, 1996). De meest betrouwbare methode, visuele schatting op doorsneden veen, is alleen representatief wanneer de monsters "vers" zijn. Gezien de aard van de monsters zou voor bepaling door gefractioneerd zeven, waarmee soms redelijke resultaten behaald worden, een zorgvuldige voorbehandeling nodig zijn geweest. Daarom is na enig experimenteren de bepaling niet doorgezet.

## 4.9 Beschrijving van de onderscheiden typen

Op de navolgende bladzijden wordt een beschrijving gegeven van de zes onderscheiden veentypen.

**Type 1 (1 monster, geen veen): humeus kleidek van de Formatie van Naaldwijk, Laag van IJe, vaak venig met rietresten onderin**



Type 1. Boring 28d, monster 132AA (0-15 cm –mv). Matig zware klei, venig, organisch stofgehalte ca. 39%. Linksboven gesneden, rechtsboven gebroken monster, onder slijtvlak onderzijde. Het monster bevat de wortelzone van het huidige grasland en de bovenzijde van het niveau met rietresten.

**Algemene beschrijving.** Type 1 bestaat uit het humeuze tot venige kleidek op het veen, variërend in dikte van ca. 15-50 cm. Soms is het enigszins gelaagd van opbouw. Vaak bevat de onderkant veel resten van rietwortelstokken. Maar één van de aangeboden monsters is in type 1 beoordeeld. Dit monster is geen veen; een nadere beschrijving blijft hier daarom achterwege.

## Type 2 (19 monsters): heide-, wollegras- en veenmosveen van de Formatie van Nieuwkoop (Hollandveen Laagpakket)



Type 2. Boring 28d, monster 132CA (50-65 cm –mv). Linkerbeeld: boven verticaal opengesneden (links) en opengebroken monster, onder horizontale spleitvlakken. Rechterbeeld: detail. Dit monster komt van betrekkelijk hoog in het profiel. Naast heidehout en wollegrasresten zijn resten van (vermoedelijk) zegge aanwezig. Het monster bevatte ook enig veenmos, maar dat is op de foto niet herkenbaar. Organisch stofgehalte ca. 92%.



Type 2. Bemonstering sleufontsluiting 5 april 2012 (proef 5, container 3); werkelijke diepte ca. 55-67 cm –mv. Naar beneden is het snijvlak meer versmeerd doordat het veen meer gehumificeerd is. Heidehout en aanzet tot scheuren en verbrokkeling zijn goed zichtbaar. Rechts wollegrasresten op een spleitvlak bovenin hetzelfde monster.

**Algemene beschrijving.** Type 2 bestaat uit meestal donkerbruin-zwart, oligotroof veen. In sommige monsters zijn duidelijk veenmosresten herkenbaar, in andere alleen na voorbereiding. De meest benoemde hoofdcomponent is heidehout, gevolgd door (Eenarig) wollegras en zeggeveen<sup>2</sup>. Soms was (beschorst) berkentakhout aanwezig. Bovenin het profiel komen soms rietresten voor. Onderin de laag waarin het type gevonden is komen roodbruine mosnesten voor, soms met veenmossen van oligotroof milieu, soms ook met Rood Viltmos. Op hetzelfde niveau zijn ook resten van Moerasvaren en van veenmossen van mesotroof milieu gevonden. Sommige monsters maken een deels veraarde indruk, mogelijk als gevolg van historische landbouw op het toenmalige veenoppervlak.

**Kleur en gehalte organische stof.** Er zijn 19 monsters tot type 2 gerekend, afkomstig van diepten tussen 0,25 en 1,32 m. Het organisch stofgehalte ligt zonder uitschieters tussen 85 en 94%; de laagste waarden binnen dit bereik worden betrekkelijk dicht onder het kleidek gevonden. De kleur van de monsters, die minstens van buiten, maar meestal ook van binnen geoxideerd zijn, is donkerbruin tot zwart. Lokaal komen lichtere, enigszins roodbruine laagjes of nesten voor, waarin meestal veenmos te herkennen is.

**Vezeligheid.** Het veen is meestal als zwak vezelig beoordeeld, waarbij aangetekend is dat de meeste vezels die van (Eenarig)wollegras zijn. De vezels verlenen nauwelijks sterkte en samenhang aan het veen; het is in alle richtingen breekbaar en waar veel heidehout voorkomt brokkelig.

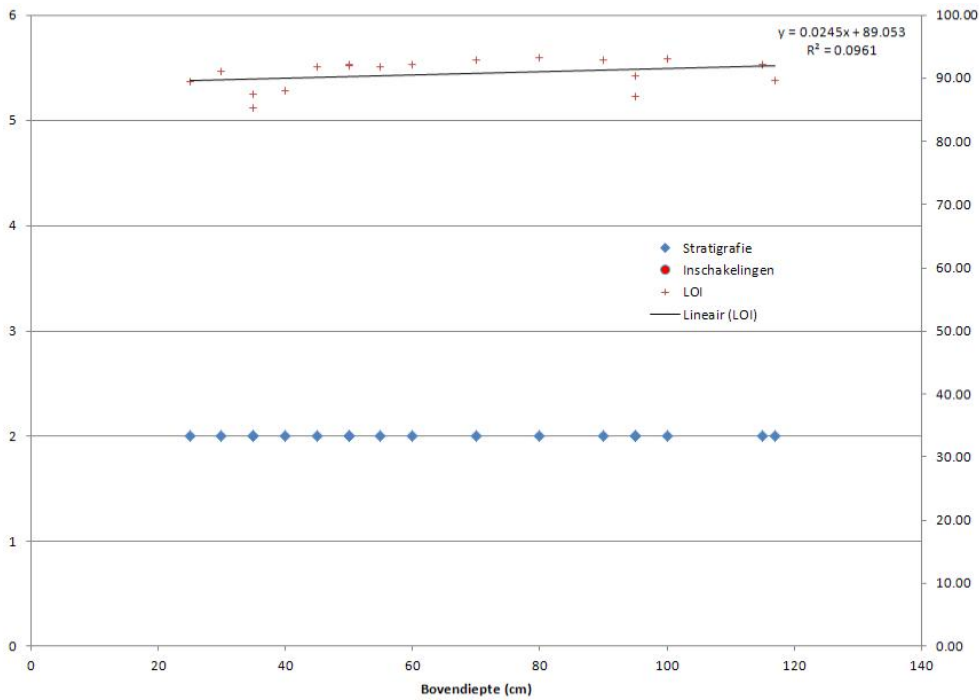
**Gelaagdheid.** De meeste monsters zijn als niet of licht gelaagd beoordeeld. Met enige regelmaat komt platige gelaagdheid voor, vaak door en in veenmoslaagjes, eenmaal, in monster 132 BA (15-40 cm beneden maaiveld) door het voorkomen van riet.

**Amorfiteit.** De meeste monsters zijn als matig amorf beoordeeld, maar er zijn ook veel monsters, die zwak, of juist sterk amorf zijn genoemd. Uit de beoordeling blijkt dat de tussensubstantie meer amorf werd bevonden dan de grote vezels. Bij spoelproeven en microscopisch onderzoek was duidelijk dat er veel sterk gefragmenteerd en verweerd weefsel tussen de goed bewaarde wollegrasvezels aanwezig was.

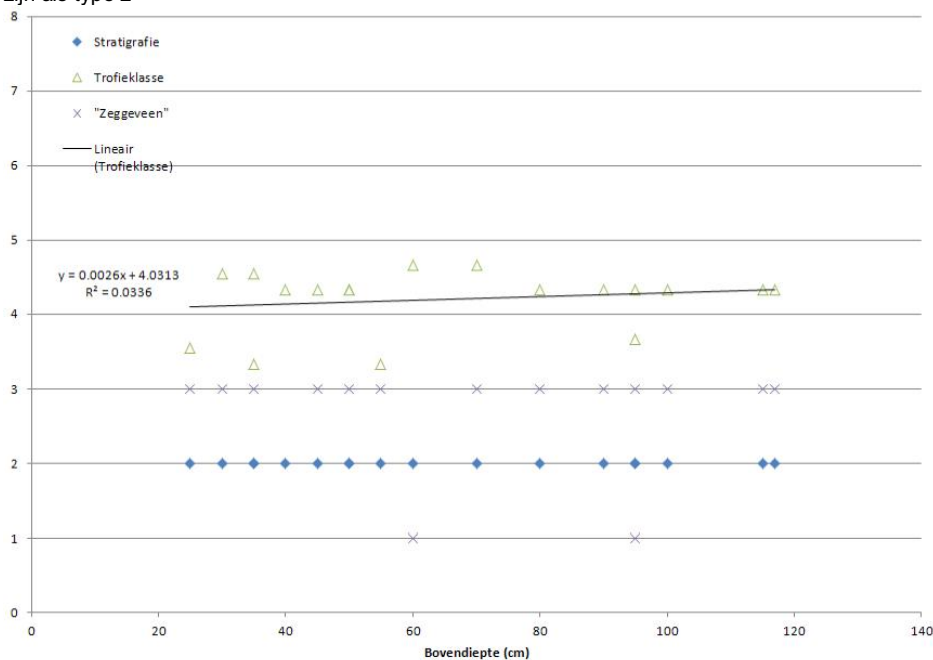
---

<sup>2</sup> Van wat bij de veenbeoordeling meestal als zeggenuitlopers en -wortels wordt benoemd staat niet vast of dit ook werkelijk van zeggensorten afkomstig is (zie de bespreking van de veensoort zeggeveen in dit rapport).

## Statistiek



In de monsters van type 2 is de LOI (organische-stofgehalte; as rechts, rode kruisjes) steeds zeer hoog, al komen bovenin het profiel monsters met iets meer minerale delen voor. Er is geen sprake van specifieke inschakelingen door afwisseling van het sedimentaire milieu. De stratigrafie (blauwe ruit) laat zien dat deze monsters geclassificeerd zijn als type 2

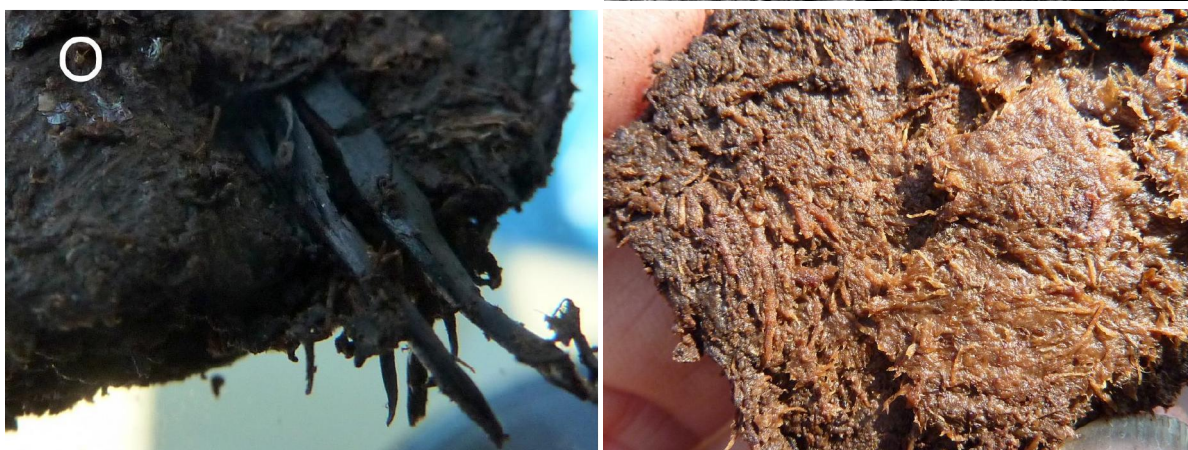


Het ontstaansmilieu van monsters van type 2 is duidelijk oligotroof (trofieklasse ca. 4; zie paragraaf 4.1); waarden iets beneden 4 worden veroorzaakt door het in sommige monsters voorkomen van enig riet en Moerasvaren als nevenbestanddeel.

**Type 3 (8 monsters): vertand complex van diverse veensoorten uit de Formatie van Nieuwkoop (Hollandveen Laagpakket) met kleiige en gyttja-achtige inschakelingen (Formatie van Naaldwijk)**



Type 3. Boring 28d, monster 133CA (130-145 cm –mv). Amorf veen met heidehout en varenresten. Kleilaagjes (links in opengesneden monster, rechts na behandeling) met daartussen veenmos. In het opengesneden monster is aan de rechterzijkant het verschil in indrogging van de laagjes met verschillende grondsoort te zien. Organisch stofgehalte ca. 75%.



Type 3. Bemonstering sleufontsluiting 5 april 2012 (proef 5, container 3); diepte ca. 200-210 c m –mv. Boven links opengewerkt, vers monster. Tussen beide kleilaagjes veenmosveen. Onder het onderste kleilaagje o.a. Galigaan, naar onderen overgaand in wollegrasveen. Rechts boven detail van de bovenste 4 mm van het bovenste kleilaagje, gelaagd door plantenresten; erboven donkergekleurd veenmosveen. Op alle niveaus ook resten van Moerasvaren (foto linksonder, wortelstokken en –omcirkeld- sporenkapsel). Rechtsonder: slijtvlak op veenmosveen ter hoogte van de bovenkant van het bovenste kleilaagje.



**Algemene beschrijving.** Type 3 bestaat uit een kleinschalige afwisseling van verschillende veensoorten, onderbroken door silthoudende kleilaagjes of afwijkende, misschien gepyrietiseerde, maar klei-arme laagjes. De monsters splijten gemakkelijk, op de ingeschakelde laagjes en op veenmoslaagjes. Bij microscopisch onderzoek zijn zowel veenmossen van uitgesproken hoogveen, zoals *Sphagnum austinii*, als soorten van basenrijker milieu, zoals *Sphagnum teres*, gevonden. Rondom de ingeschakelde laagjes zijn ook met zekerheid heidehout, wollegras en Moerasvaren gevonden en wellicht Veenbloembies (*Scheuchzeria*). De laatstgenoemde soort is met zekerheid vastgesteld op het met de monsters van type 3 overeenkomende niveau in een boring op de kruin van de Markermeerdijk. Galigaan is niet opgegeven, maar lijkt op grond van foto's, microscopische analyse en waarnemingen bij de ontsluitingen wel met zekerheid als een component van het type te mogen worden beschouwd. Mogelijk is enige verwisseling met houtresten aan de orde geweest.

De inschakelingen zijn waarschijnlijk het gevolg van losscheuren en opdrijven van het bovenste deel van het veenpakket onder invloed van binnendringend zeewater, op andere plaatsen van overstroming van slenken in het veendek. In sommige gevallen lijkt de begroeiing bij de hogere waterstand als een harmonica uitgerekt te zijn geweest, waarna bij slib tussen de weer inzakkende planten opgesloten werd. Deze laagjes verlopen als gevolg van de complexe ontstaanswijze onregelmatig, dit is een specifiek kenmerk van deze klapkleien. Soms is geen klei afgezet, maar wel –waarschijnlijk– pyriet gevormd. In het veld en bij routinematige beschouwing van de monsters kan het niveau gemakkelijk aan de aandacht ontsnappen. In de sleufontsluitingen deed het zich voor als kleilaagjes of okerkleurige gyttja-achtige, sterk naar zwavelwaterstof ruikende lagen.

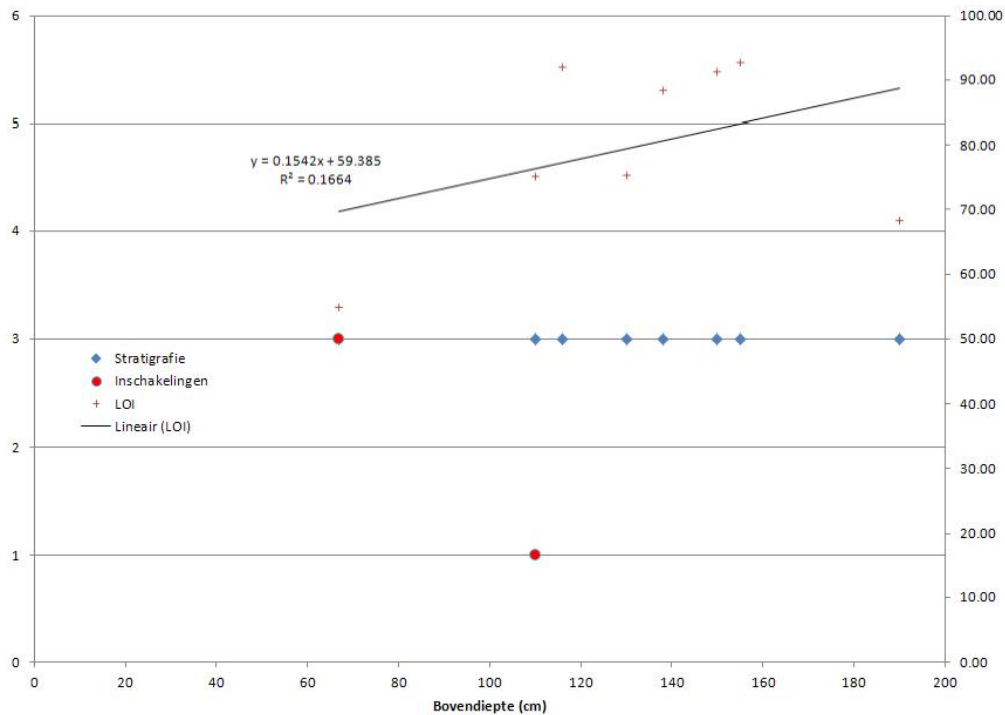
**Kleur en gehalte organische stof.** Er zijn 8 monsters tot type 3 gerekend, afkomstig van diepten tussen 0,67 en 2,05 m. Er is als gevolg van de ingeschakelde kleilaagjes een flinke spreiding in het organische-stofgehalte, maar het veen zelf is over het algemeen zeer mineraalarm. De LOI-meting varieert van 75 tot 93 %, met één uitschieter van 55%. De kleur van de monsters is meestal donkerbruinzwart, soms bij opensnijden lichter roodbruin, met lichtgrijze kleilaagjes. Vers ontsloten overheersen echter licht- tot midden-roodbruine kleuren.

**Vezeligheid.** De vezeligheid is uiteenlopend beoordeeld, over het algemeen als niet of zwak tot matig, een enkele keer als sterk vezelig. Verschillende keren is opgemerkt dat de vezels niet of nauwelijks of vooral lateraal voor samenhang zorgen en dat het veen neigt tot verbrokkeling. De platige veenmoslaagjes en enkele bredere, plat liggende plantendelen maken splijting dwars op de kolom gemakkelijk.

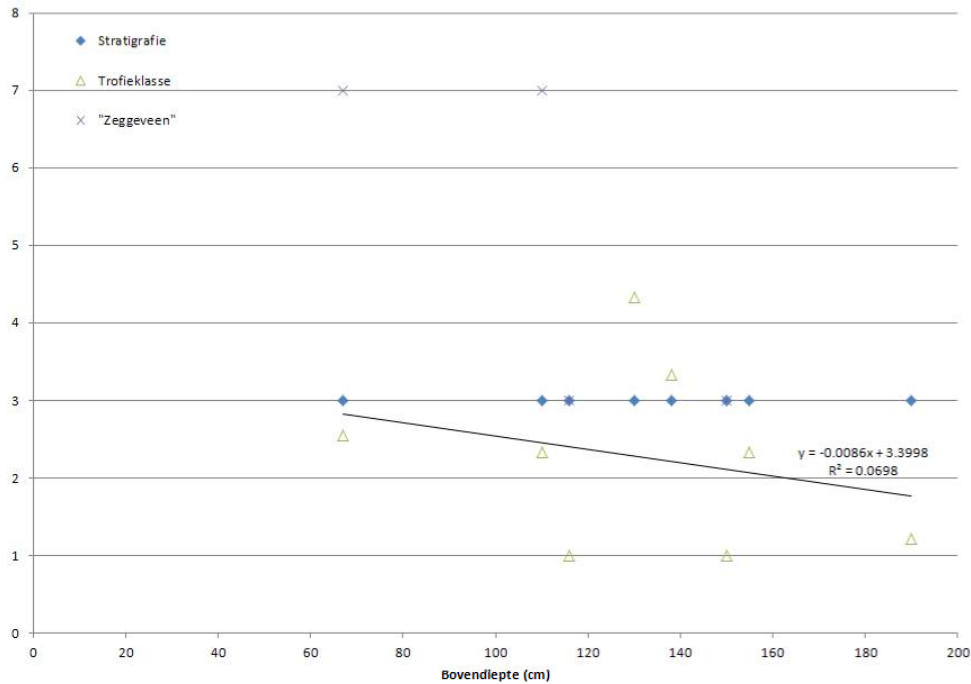
**Gelaagdheid.** Zowel door kleilaagjes als door platige veenlaagjes, vaak opgebouwd uit veenmos, is er sprake van een kleinschalige (0,2-20 mm) gelaagdheid. Hierdoor is het pakket op verschillende niveaus gemakkelijk splijtbaar. Een aantal keren is geen gelaagdheid herkend.

**Amorfiteit.** De monsters zijn beoordeeld als sterk, matig of zwak amorf. De beoordeling van de amorfiteit was moeilijk doordat in en rond de kleilaagjes vaak weinig verweerde plantenresten herkenbaar waren, terwijl de overige veensubstantie sterk amorf was, wat ook enkele malen is opgemerkt.

## Statistiek



In de monsters van type 3 (blauwe ruiten) varieert het organisch stofgehalte (rode kruisjes) al naar gelang de klastische inschakelingen en de mate waarin dit voor de LOI-bepaling zijn meebemonsterd (rode bolletjes voor niveau van inschakelingen).



In het ontstaansmilieu van monsters van type 3 zijn zowel uitgesproken oligotrofe als meso-eutrofe elementen te herkennen (zie groene driehoeken voor de trofieklasse, paragraaf 4.1). De inschakelingen hebben zeker de oligotrofie tijdelijk verlaagd, maar omdat het basen- en voedselrijke, waarschijnlijk brak tot zout water, voor een belangrijk deel in spleten in het veen indrong heeft zich daarboven toch betrekkelijk snel weer een oligotroof milieu kunnen herstellen.

## Type 4 (44 monsters): overwegend “zeggeveen” van de Formatie van Nieuwkoop (Hollandveen Laagpakket)



Type 4. Boring T02, monster 65BA (217-232 cm –mv). “Zeggeveen” met Galigaan. Organisch stofgehalte ca. 91%.



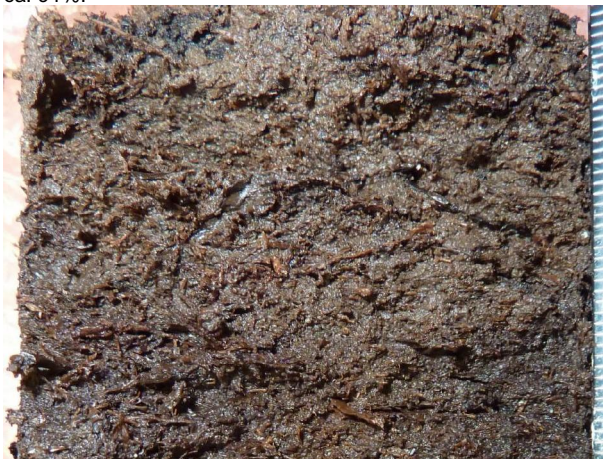
Type 4. Boring B10d, monster 55DA (346-361 cm –mv). “Zeggeveen” (worteltjesveen) met enig riet. Organisch stofgehalte ca. 90%.



Type 4. Boring T02, monster 100A (272-287 cm –mv). Links iets ingedroogd, zo uit het folie (“schrompelveen”), rechts opengesneden zeggeveen met enig riet. Organisch stofgehalte ca. 91%.



Type 4. Boring T02, monster 99EA (252-267 cm -mv). Stengelbases van Galigaan in “zeggeveen”. Linksboven (aangesneden), rechtsonder *in situ*. Organisch stofgehalte ca. 89%.



Type 4. Boring B22d-2, monster 88AA (206-219 cm –mv). “Zegge-veen” met mosresten, bovenin iets pasta-achtig. Organisch stofgehalte ca. 93%.



Type 4. Boring B10d, monster 54CA (221-236 cm –mv). “Zeggeveen” met wortelstokken, waarschijnlijk van Waterdriehblad. Organisch stofgehalte ca. 89%.

**Algemene beschrijving.** Type 4 bestaat uit als zeggegeven benoemd veen, met Galigaan, riet en in mindere mate Waterdrieblad als belangrijke nevencomponenten. Plaatselijk overheersen de grove componenten en is het veen brokkelig; het type “worteltjesveen” overheerst echter. In verschillende gevallen had het licht uitgedroogde veen een verschrompeld uiterlijk, waarschijnlijk mede als gevolg van de eerdere geotechnische tests. Er is enige overlap met type 3, waarin inschakelingen voorkomen als gevolg van opscheuring en indringing van met sediment belast zeewater. Bovenin komen ook oligotrofe componenten voor, zoals wollegras en veenmos, maar de meeste monsters waarin dit duidelijk was, bevatten ook klastische of gepyrietiseerde inschakelingen en zijn daarom tot type 3 gerekend.

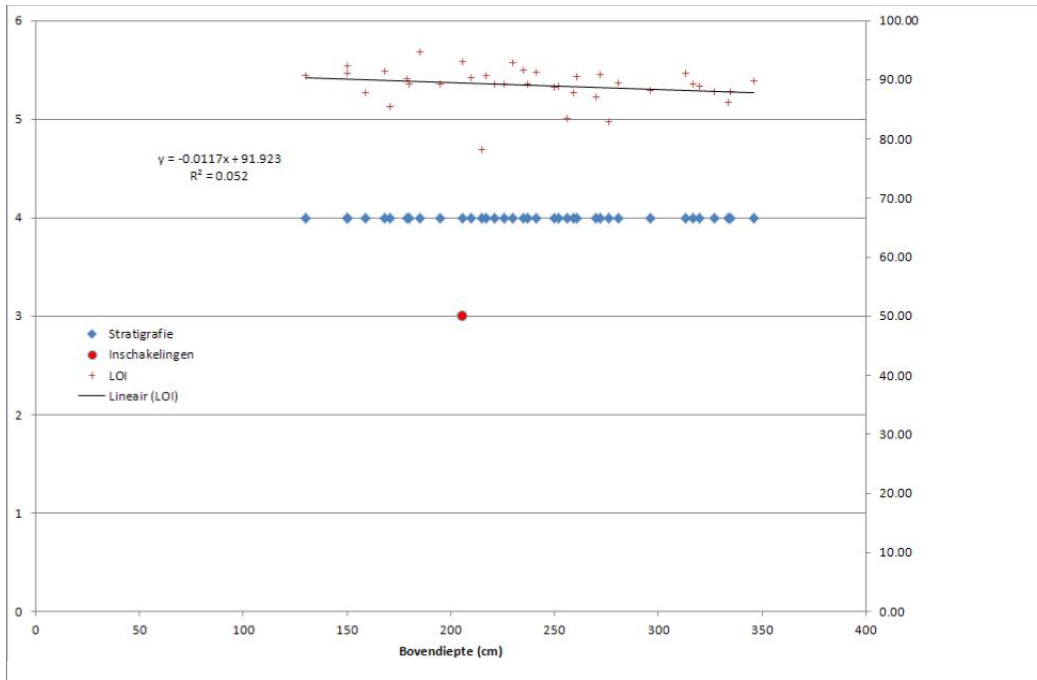
**Kleur en gehalte organische stof.** Er zijn 44 monsters tot type 4 gerekend, afkomstig van diepten tussen 1,30 en 3,61 m. Het organisch stofgehalte is steeds hoog: 78-95%, waarbij waarden beneden 85% als uitschieters kunnen worden beschouwd. De kleur van de monsters is donkerbruin tot zwart, soms bij openmaken lokaal midden bruin. Ook de grote vezels zijn vaak donker van kleur, maar een deel van de worteltjes is licht en sommige worteluitlopers, wellicht van grote zegge, zijn opvallend licht van kleur.

**Vezeligheid.** Veel monsters zijn als sterk vezelig beoordeeld, waarbij de vezels bijdragen aan de samenhang van het monster in beide richtingen. In sommige monsters is echter een neiging tot verbrokkelen of zelfs verkrummelen genoteerd.

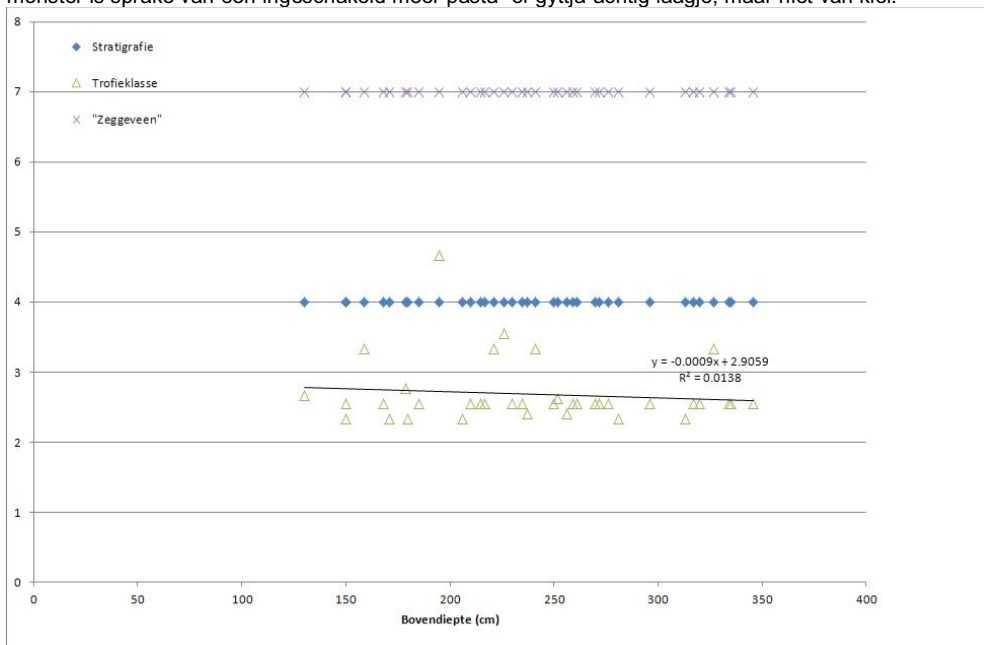
**Gelaagdheid.** Gelaagdheid is maar zelden opgemerkt. Soms kwamen spijltvlakken voor op wortelstokresten van riet en eenmaal op een 5 mm dik veenmosbandje, dat microscopisch als *Sphagnum papillosum* kon worden geïdentificeerd, een soort van overwegend oligotroof milieu.

**Amorfiteit.** De meeste monsters zijn als zwak tot matig amorf beoordeeld, waarbij vaak is opgemerkt dat vooral de tussensubstantie matig amorf was. Deze amorfiteitsschatting verhoudt zich niet goed tot het “schrompel”karakter, dat in verband gebracht wordt met sterke polymerisatie van het veen als gevolg van fysisch-chemische verwerking. De discrepantie is er wellicht het gevolg van dat de beoordeling van de amorfiteit op het oog sterk beïnvloed wordt door de vele nog duidelijk herkenbare worteltjes en grote resten van onder meer riet en zegge.

## Statistiek



In de monsters van type 4 (blauwe ruiten) is het organisch stofgehalte (rode kruisjes, rechter as) steeds hoog. In één monster is sprake van een ingeschakeld meer pasta- of gyttja-achtig laagje, maar niet van klei.



Het ontstaansmilieu van monsters van type 4 wordt eoordeeld als mesotroof (trofieklasse op linker as, zie paragraaf 4.1). Omdat de naam zeggeveen niet erg nauwkeurig is, kunnen daar geen vergaande conclusies aan verbonden worden. Er komen zowel eutrofe als oligotrofe componenten in het veen voor.

**Type 5 (12 monsters, deels geen veen): rietklei en kleilig rietveen; overgang Formatie van Naaldwijk (Laagpakket van Wormer) naar Formatie van Nieuwkoop (Hollandveen Laagpakket)**



Type 5. Boring 27d, monster 124EA (395-410 cm –mv). Links van de liniaal horizontale *splijvlakken*, rechts verticaal *snijvlak*. Organisch stofgehalte ca. 12%.



Type 5. Boring 28d, monster 136AB (416-431 cm –mv). Twee verticale en één horizontaal *snijvlak* (rechtsonder); vooral rietresten, wellicht ook galigaan en (grote) zegge. Organisch stofgehalte ca. 19%.



Type 5. Boring 28d, monster 136BA (401-416 cm –mv). Links rietwortelstokken op een horizontaal *splijvlak*, rechts een verticaal *breukvlak*. Organisch stofgehalte ca. 18%. Open structuur en wortelcontinuïteit zichtbaar na openbreken.



Type 5. Boring 10d, monster 56EA (471-486 cm –mv). Links: links van de liniaal verticaal *snijvlak*, rechts van de liniaal horizontale *splijvlakken*. Rechts: verticaal *breukvlak*. Organisch stofgehalte ca. 18%. Schijn van gelaagdheid op snijvlak door geplette wortelstokken van riet.



**Algemene beschrijving.** Type 5 bestaat uit humeuze, matig zware tot zware klei (één monster lichte klei, één monster zwak siltig), venige klei en kleilig veen met veel rietresten, wellicht ook Galigaan<sup>3</sup>. In de guts is het zeer slap materiaal (losse pakking, niet geconsolideerd), dat gemakkelijk uit de boor valt. In een Begemannboring en bij doorsnijden wordt het beeld bepaald door klei, soms met enig silt of zand. Naarmate er meer organisch materiaal in zit, lijkt het sediment gelaagd. Dit is geen afzettingsgelaagdheid: de indruk wordt bepaald door de plaatsen waar “toevallig” de geplette<sup>4</sup> wortelstokken van riet zijn doorgesneden. De boorkolom is overdwars gemakkelijk te splijten waar deze wortelstokken lopen. Bij openbreken langs de vertikaal wordt pas goed duidelijk hoeveel organisch materiaal aanwezig is in het doorlopende wortelnet, waartussen veel open ruimte zit.

**Kleur en gehalte organische stof.** Er zijn 12 monsters tot type 5 gerekend, afkomstig van diepten tussen 3,80 en 5,18 m. Er is een grote spreiding in het organisch stofgehalte, dat door de bank genomen afneemt met de diepte: de LOI-metingen geven voornamelijk waardes tussen de 10-50% met uitschieters van 5-91%. Hoge uitschieters gaan samen met een zeggeveen component (feitelijk wellicht vooral Galigaan). De kleur van de monsters is grijs, over het algemeen donkerder naarmate er meer rietresten en ander organisch materiaal aanwezig zijn, in enkele monsters tot donkerbruin.

**Vezeligheid.** De vezeligheid is alleen in de als veen benoemde monsters beoordeeld, en deze zijn over het algemeen beschreven als sterk vezelig. De vlak liggende, brede en meestal platte wortelstokken van het riet maken splijting dwars op de kolom gemakkelijk, maar de rietwortels dragen bij aan sterkte en samenhang in alle richtingen. Één monster werd als zwak vezelig beoordeeld; hier is misschien minder gelet op het lengtebreukvlak, waardoor ook de bijdrage van de vezels aan de sterkte en samenhang in dit monster misschien ondergewaardeerd zijn.

**Gelaagdheid.** De gelaagdheid is beoordeeld van niet tot zwak gelaagd, waarbij soms is opgemerkt dat het om rietlaagjes ging. De gelaagdheid is over het algemeen geen afzettingsgelaagdheid, maar een gevolg van de lokale aanwezigheid van wortelstokken van riet.

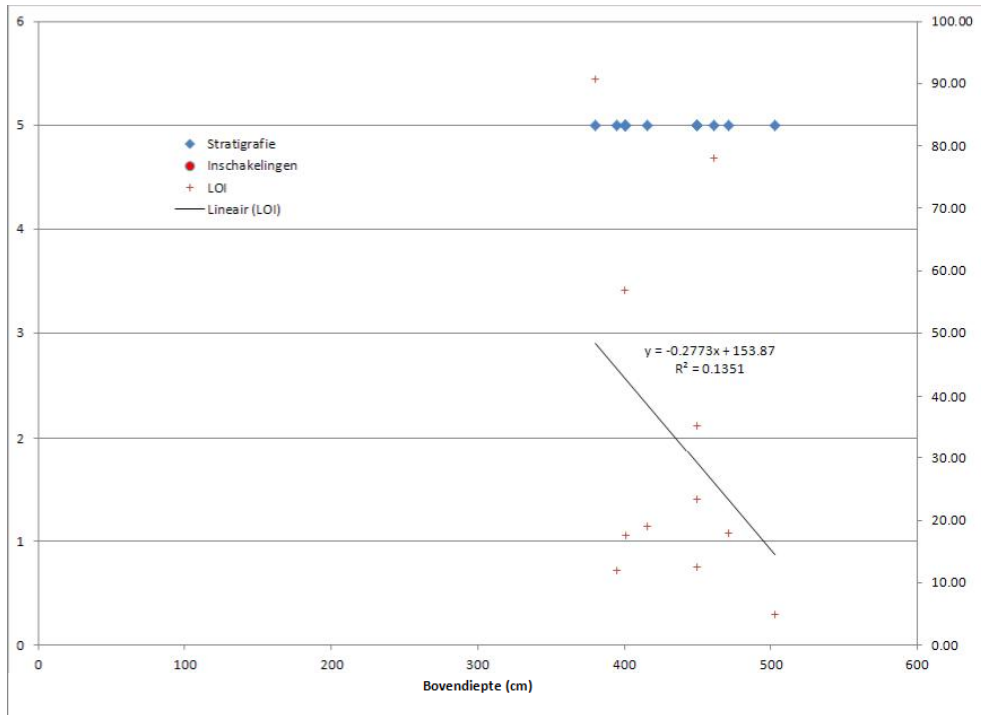
**Amorfiteit.** Alleen de als veen benoemde monsters zijn op amorfiteit beoordeeld, en wel als zwak amorf. In het enige als matig amorf beoordeelde monster kwam tussen het wortelmateriaal van riet veel detritus-achtig organisch materiaal voor; dit monster had een Organisch stofgehalte van 78%.

---

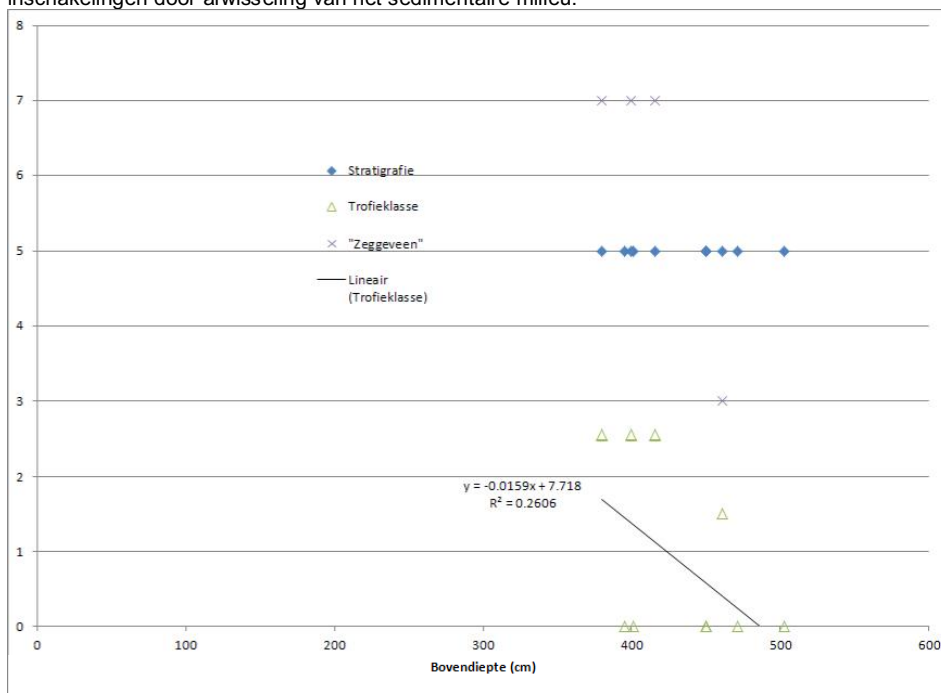
<sup>3</sup> In een deel van de veenmonsters is (grote-)zeggeveen als dominante component aangegeven. Van één hiervan, monster 136BA is een goede foto (zie afbeelding) en een beschrijving. Het gaat hier om een enigszins afwijkend deelmonster van enkele centimeters hoogte. Op grond van de foto lijkt het aannemelijk dat dit deelmonster Galigaan, een grote zegge-achtige, bevat. Het is niet uitgesloten dat dit ook zo is voor beide andere als zeggeveen met riet beoordeelde, donkerbruine monsters met een hoog organisch stofgehalte. Hiervan zijn geen foto's, maar wel beschrijvingsformulieren. In één ervan (34BA) is de aanwezigheid van (weinig) houtige vezels opgemerkt, wat kan wijzen op verwisseling met Galigaan.

<sup>4</sup> Over het algemeen zijn wortelstokken van riet op enige meters onder maaiveld sterk geplet, maar het is de vraag of dat in materiaal met een dergelijke losse pakking ook te verwachten is. De geotechnische proeven op de monsters kunnen ook aan de samendrukking hebben bijgedragen; wij hebben niet gelet op aanwijzingen hiervoor, anders dan dat verschillende monsters, die in de boorkolom 15 cm lang waren, bij onze beoordeling nog maar ca. 10 cm lang waren.

## Statistiek



In de monsters van type 5 (blauwe ruiten) neemt de LOI (rode kruisjes, organisch stofgehalte; rechter as) met de diepte af. De monsters bevatten in het algemeen veel klastisch materiaal en er is geen sprake van specifieke inschakelingen door afwisseling van het sedimentaire milieu.



Het ontstaansmilieu van monsters van type 5 is overwegend eutroof (trofieklasse 0-1, groene driehoeken, zie paragraaf 4.1); wanneer aangenomen wordt dat het als zeggeveen beoordeelde veen, dat in enkele monsters voorkomt (kruisjes), feitelijk galigaanveen is, geldt dit voor alle monsters. Niettemin valt op dat deze component hoger in het profiel toeneemt.



## Type 6 (34 monsters, geen veen): Mariene en perimariene klei- en zandafzettingen van de Formatie van Naaldwijk (Laagpakket van Wormer)



Type 6. Boring T03, monster 103BA (604-624 cm –mv). Zware zavel, aan de buitenzijde iets geoxideerd; de schijnbare gelaagdheid is vermoedelijk een snijartefact. Organisch stofgehalte ca. 4%. Mariene tweekleppige schelp zichtbaar.



Type 6. Boring T03, monster 103AA (584-599 cm –mv). Lichte klei; zand- en siltlaagjes 0,1-0,5 cm dik. Links opengedoken monster met enige zichtbare plantenresten, rechts gesneden monster. Organisch stofgehalte ca. 5%.



Type 6. Boring T03, monster 102EA (563-578 cm –mv). Zware zavel; silt- en kleilaagjes 0,2-0,7 cm dik; plantenresten. Organisch stofgehalte ca. 4,5%. Rechts slijtvlak op niet nader gedetermineerde plantenrest.



**Algemene beschrijving.** Type 6 bestaat uit klastisch, steeds kalkrijk sediment met resten van, voor zover herkend, mariene schelpen. In veel monsters komt een afwisseling van zand of silt en klei voor. Veel monsters bevatten glimmer. Het organisch stofgehalte is minder dan ca. 5%, maar incidenteel komen resten van plantenwortels of ondefinieerbaar organisch materiaal voor. Er zijn enkele uitschieters (15, 8 en 6%), waarin o.a. wortelstokken van riet zijn aangetroffen. De monsters zijn aanmerkelijk minder slap dan die van type 5. Omdat het geen venen zijn worden ze in deze beschrijving niet nader behandeld.

## 5 Opschaling naar dijktraject

### 5.1 Beschrijvingen Kruihboringen Uitdam en Kinselmeer

Eén van de doelen van deze studie is het vertalen van de resultaten behaald in het proefperceel naar het gehele dijktraject van Amsterdam tot Hoorn. Op vijf locaties zijn daarom Begemann boringen gezet, per locatie zijn er boringen aan de binnenkant (landkant) van de dijk gezet, op de kruin van de dijk, en in de berm van de dijk. Van de twee zuidelijkste locaties, Uitdam-Dorp en Kinselmeer, zijn deze boringen beschreven (Tabel 5.1 en Tabel 5.2), voor het grootste deel op basis van wat te zien was in een smalle, schoongeschaapte strook aan de buitenkant van de kern, maar in enkele gevallen zijn korte secties opengesneden en meer volledig beschreven.

Tabel 5.1 Beschrijving van de boring gezet op de kruin van de Markermeerdijk bij Uitdam-Dorp. De gevonden opbouw correspondeert met de geologische opbouw van het proefperceel, maar de opeenvolging is sterk gecompriemd.

Diepte onder mv (cm)	Diepte tov NAP (cm) T= Top, B=Bottom	Opbouw Dijk Uitdam-Dorp (boring B71-4kruin, DK28; maaiveldhoogte +3.13 m NAP)	Corresponderende laag in Uitdam proefperceel
0-117	T +313 B +196	Zandige klei, opgebracht, geroerd, bovenin bodem	Dijklichaam geen equivalent in het proefperceel
117-201	T +196 B +112	Klei, gelaagd met geel zand, geroerd, opgebracht, veel puin	Dijklichaam geen equivalent in het proefperceel
201-256	T +112 B +57	voornamelijk baksteen en puin	Dijklichaam geen equivalent in het proefperceel
256-452	T +57 B -139	Klei, donkergrijs, redelijk massief, opgebracht, plantenresten, deels humeus, geband	Dijklichaam geen equivalent in het proefperceel
452-555	T -139 B -242	humeuze klei, geband met minder humeuze klei (1-3 cm bandjes), niet meer duidelijk opgebracht	eerste fase dijkopbouw (?) geen equivalent in het proefperceel
555-578	T -242 B -265	sterk humeuze klei (SBB: H3), steeds humeuzer naar onder toe, met 1-3 cm dikke minder humeuze kleibandjes, niet meer duidelijk opgebracht	eerste fase dijkopbouw (?) geen equivalent in het proefperceel
578-658	T -265 B -345	sterk gecompacteerd riet-/zeggeveen, natuurlijke sequentie?	natuurlijke aanwas? geen equivalent in het proefperceel
658-678	T -345 B -365	Sterk humeuze (SBB: H3) klei, geband met venige klei (SBB: Vk3)	natuurlijke aanwas? geen equivalent in het proefperceel

678-829	T -365 B -516	Humeuze (SBB: H2) tot sterk humeuze (SBB: H3) klei, geband in 1-3 cm dikke bandjes, plantenresten	natuurlijke aanwas? geen equivalent in het proefperceel
829-839	T -516 B -526	rietresten, sterk humeuze klei (SBB: Ks1 H3) en sterk kleiig veen (SBB: Vk3) geband, mogelijk oud oppervlak op -516 cm NAP, duidelijke indicatie oud oppervlak ontbreekt	1? (onder oud oppervlak)
839-864	T -526 B -551	Zeggeveen met bovenin heidetakjes, op -548 cm NAP kleilaagjes, daaronder veenmosveen	2+3 (oligotroof veen en vertand complex)
864-937	T -551 B -624	zeggeveen	4 (zeggeveen)
937-1007	T -624 B -694	humeuze klei met rietresten	5 (rietklei)
1007-1173	T -694 B -860	zavel met silt en fijn zand lagen	6 (zavel fase)
1173-1276	T -860 B -963	zavel met zilt en kleilagen, steeds kleiiger naar onderen	6 (zavel fase)
1276-1281	T -963 B -968	lichte klei (LK) met rietresten	6 (onderste? klei fase)

Deze beschrijvingen zijn vergeleken met de geologische opbouw van het proefperceel (Tabel 3.1). De bovenste 4.5 meter (tot -139 cm NAP) van de boring op de kruin van de dijk zijn duidelijk onderdeel van het dijklichaam, te herkennen aan het opgebrachte zand en het puin. Hier is geen equivalent van in het proefperceel. Tussen 450 en 580 cm (tussen -139 en -265 cm NAP) onder de kruin van de dijk is er gelaagde (gebande) klei gevonden. Er zijn geen duidelijke aanwijzingen meer dat dit opgebrachte grond is (zoals puin, baksteen of schoon zand). Daaronder, tussen 580 en 830 cm onder de kruin van de dijk (tussen -265 en -516 cm NAP) zit een pakket bestaande uit humeuze kleien, venige kleien en venen. Ook hiervan is het onduidelijk of dit opgebrachte grond is, of een natuurlijke sequentie. Onder 830 cm beneden de kruin van de dijk begint een humeuze klei waarvan de top mogelijk een oud maaiveld is. Onder deze humeuze klei zit een zeggeveen met heidetakjes, en onderin veenmosveen. Dit is een duidelijk een oligotroof veenpakket, dat normaal bovenin de veensequentie zit (vergelijk met Tabel 3.1). Daarom wordt dit pakket geïnterpreteerd als de laterale continuïteit van het oligotrofe pakket in het proefperceel. Omdat er ook een kleilaagje aanwezig is op -548 cm NAP is dit waarschijnlijk een combinatie van stratigrafische groep 2 en 3 (Tabel 3.1). Het pakket humeuze kleien dat hierboven zit is dan de equivalent van stratigrafische groep 1, de IJe Laag. Dit zou dan wel een vroege afzetting zijn van de Zuiderzee, aangezien de bouw van de Markermeerdijk, die begon in de 12<sup>de</sup> of 13<sup>de</sup> eeuw (Provincie Noord-Holland, 2004) er juist voor moest zorgen dat er geen IJe Laag meer afgezet kon worden. Een gevolg van deze interpretatie is dat alles boven het oude maaiveld op -516 cm NAP onderdeel is van het dijklichaam. Voor de banden klei en veen geldt dat dit mogelijk onderdeel is van de vroege dijkenbouw. Het kunnen plaggen zijn, de eerste dijken waren aardewallen met een groot voorland (Provincie Noord-Holland, 2004). Het is ook mogelijk dat het om semi-natuurlijke aanwas van sedimenten gaat die later zijn gebruikt als basis voor de bouw van de dijk. Om de oorsprong van deze sedimenten nader te bepalen is het noodzakelijk om te bepalen hoe de eerste dijken werden aangelegd en op welke manier dat tot de gevonden afzettingen kan hebben geleid. Onder het oligotrofe pakket zit een pakket zeggeveen tussen 839 en 864 cm onder de kruin (tussen -551 en -624 cm NAP). Dit kan gecorreleerd worden met het pakket zeggeveen dat in het proefperceel is aangetroffen

(stratigrafische groep 4). Hieronder zit tussen de 937 en 1007 cm onder de kruin van de dijk een pakket humeuze kleien met rietresten, dat overeenkomt met de rietkleien in stratigrafische groep 5 in het proefperceel. Hieronder beginnen de kleien en zavel van het Laagpakket van Wormer (stratigrafische groep 6), dat tussen 1007 en 1281 cm onder kruin van de dijk doorloopt (tot einde boring). Hierin lijkt de bovenste kleifase te ontbreken. De boring bereikt niet het Pleistoceen en daardoor ontbreekt informatie over de hoogteligging van het Pleistocene zand op deze locatie.

Tabel 5.2 Beschrijving van de boring gezet op de kruin van de Markermeerdijk bij het Kinselmeer. De gevonden opbouw correspondeert met de geologische opbouw van het proefperceel, maar de opeenvolging is sterk gecompriemd.

Diepte onder mv (cm)	Diepte tov NAP (cm) T= Top, B=Bottom	Opbouw Dijk bij Kinselmeer (boring B01 dijk28, DP134; maaiveldhoogte +2.92 m NAP)	Corresponderende laag in Uitdam proefperceel
0-35	T +292 B +257	Geel zand met klei gelaagd, baksteen, opgebracht, geroerd, bovenin bodem	Dijklichaam geen equivalent in het proefperceel
35-100	T +257 B +192	Klei, massief, geroerd, opgebracht	Dijklichaam geen equivalent in het proefperceel
100-126	T +192 B +166	Geen monster	N/A
126-197	T +166 B +95	Klei, massief, puin, geroerd	Dijklichaam geen equivalent in het proefperceel
197-227	T +95 B +65	Geen monster	N/A
227-257	T +65 B +35	Massieve klei, met puinlaag onderin (oud oppervlak?)	Dijklichaam geen equivalent in het proefperceel
257-332	T +35 B -40	massieve klei, licht humeus (SBB: H1), plantenresten, niet meer duidelijk opgebracht	eerste fase dijkopbouw (?) geen equivalent in het proefperceel
332-347	T -40 B -55	venige klei (SBB: Vk3)?	eerste fase dijkopbouw (?) geen equivalent in het proefperceel
347-362	T -55 B -70	Sterk humeuze (SBB: H3) klei, plantenresten	eerste fase dijkopbouw (?) geen equivalent in het proefperceel
362-463	T -70 B -171	Licht humeuze (SBB: H1) tot humeuze (SBB: H2) klei, massief, licht geband met organische stukken, niet duidelijk meer opgebracht, vivianiet, oud oppervlak op 413 cm (-121 cm NAP)?	eerste fase dijkopbouw (?) geen equivalent in het proefperceel

463-534	T -171 B -242	Klei, massief, geband (1-3 cm dikke bandjes), niet duidelijk meer geroerd, Tussen 532-534 cm –mv (-240/-242 cm NAP) monsters genomen. Monster lijkt geroerd, platig, schelp-achtige breuk, geen herkenbare plantenresten.	eerste fase dijkopbouw (?) geen equivalent in het proefperceel
534-564	T -242 B -272	geen monster	geen informatie
564-722	T -272 B -430	sterk humeuze klei (SBB: H3) en venige klei (SBB: Vk3) banden (1-3 cm dik), soms rommelige opbouw, tussen 619-621 cm – mv (-327/-329 cm NAP) zeggeveen laagje, monster genomen.	natuurlijke aanwas? geen equivalent in het proefperceel
722-737	T -430 B -445	Veen (Vkm), tussen 732-734 cm –mv (-440/-442 cm NAP) wollegrasveen (?) – hiervan monster genomen	natuurlijke aanwas? geen equivalent in het proefperceel
737-766	T -445 B -474	sterk humeuze klei (SBB: H3) en venige klei (SBB: Vk3) banden	natuurlijke aanwas? geen equivalent in het proefperceel
766-786	T -474 B -494	zware klei (SBB: Ks1), sterk humeus (SBB: H3) met riet, onderin steeds veniger tot kleilig rietveen	natuurlijk/geroerd? geen equivalent in het proefperceel
786-867	T -494 B -575	monsters niet bekeken	geen informatie
867-941	T -575 B -649	zware klei (SBB: Ks1), sterk humeus (SBB: H3) afgewisseld met venige klei (SBB: Vk3)	natuurlijk/geroerd? geen equivalent in het proefperceel
941-943	T -649 B -651	wollegrasveenlaag (?), monster genomen	natuurlijk/geroerd? geen equivalent in het proefperceel
943-968	T -651 B -676	Sterk humeuze (SBB: H3), zware klei (SBB: Ks1), met 5 cm dikke schone kleilaag	1 (overstromingslaag?)
968-988	T -676 B -696	Zeggeveen met mogelijk Galigaanresten, foto genomen	2 (mesotrofe equivalent)
988-1008	T -696 B -716	Wollegrasveen met veenmosresten op 1005 cm – mv (-713 cm NAP) een kleilaagje met mosveen, foto genomen, bovenkant traject gemonsterd (monster #52)	3 (oligotroof veen en vertand complex)
1008-1028	T -716 B -736	rietveen met grote zegge, met Galigaan?, monsters genomen (#50 onderkant, #51 bovenkant)	4 (zeggeveen met rietresten)
1028-1048	T -736 B -756	zeggeveen (grote zegge), varenmateriaal, gelaagdheid alleen in vegetatie	4 (zeggeveen)
1048-1069	T -736 B -756	zegge-rietveen, gelaagdheid alleen in vegetatie, foto genomen	4/5 (zeggeveen/ rietveen)

1069-1103	T -756 B -811	matig zware klei (SBB: Ks2), licht humeus (SBB: H1)	6 (bovenste klei fase)
1103-1116	T -811 B -824	veenlaag, licht kleilig (SBB: Vk1)	tussenlaag, zie ook geotechnisch profiel proefperceel (paragraaf 3.2)
1116-1271	T -824 B -979	lichte klei (SBB: Ks3) met organische stof houdende banden	6 (bovenste klei fase)
1271-1372	T -979 B -1080	zavel met silt- en fijn zandlaagjes	6 (zavel fase)
1372-1473	T -1080 B -1181	zavel en Lichte Klei (SBB: Ks3) banden, ca 3 cm dik	6 (zavel fase)
1473-1482	T -1181 B -1190	klei, schelpenresten	6 (onderste klei fase)
1482-1490	T -1190 B -1198	veen	Basisveen
1490-1493	T -1198 B -1201	zand, humeus (SBB: H2)	Pleistoceen dekzand

Tot op zekere hoogte vertoont de opeenvolging aangetroffen in de boring Kinselmeer (Tabel 5.2) overeenkomsten met de boring Uitdam-Dorp (Tabel 5.1). In de boring Kinselmeer zit een aantal keer oligotroof veen (wollegras, veenmos), waarbij het diepste voorkomen zit op 1005 cm onder de kruin van de dijk, op -713 cm NAP. Dit is wollegrasveen met een kleilaagje, waardoor het geïnterpreteerd wordt als de onderkant van het oligotrofe pakket zoals dat in het proefperceel is aangetroffen (stratigrafische groep 3). Het bovenliggende pakket is hier geen heideveen/wollegrasveen pakket zoals in het proefperceel werd aangetroffen, maar een zeggeveenpakket met Galigaan. Het is goed mogelijk dat mesotrofe en oligotrofe plantenassemblages naast elkaar hebben gestaan, zoals ook is aangetroffen binnen het proefperceel (in het profiel, Figuur 3.1, is dat ook aangetroffen). Bovenop het zeggeveenpakket ligt een sterk humeuze (H3) zware klei (Ks1), die mogelijk het equivalent is van de Zuiderzee-overstromingslaag (Laag van Ije). Alles wat hier boven zit (943 cm) zou dan onderdeel zijn van het dijklichaam. Voor de bovenste 257 cm (tot +35 cm NAP) is dit duidelijk, aangezien hier veel puin wordt aangetroffen. In de 300 cm daaronder (tot -272 cm NAP) zijn er geen duidelijke aanwijzingen meer dat dit stuk opgebrachte grond is. Gezien de hoge ligging van dit pakket ten opzichte van NAP van dit pakket is het echter onwaarschijnlijk dat dit natuurlijke afzettingen zijn en daarom worden ze tot de eerste fase van de dijkopbouw gerekend. De gebandheid van de afzettingen is dezelfde als aangetroffen onder de dijk in Uitdam-Dorp. Mogelijk is dit de aardewal (provincie Noord-Holland, 2004) die de eerste fase van dijkopbouw representeert. In het traject tussen 564 en 766 cm onder de kruin (tussen -272 en -474 cm NAP) komt meer veen voor als banden tussen de sterk humeuze klei. Dit zijn zeggeveen en wollegrasveen resten, en onderin ook rietveen. Omdat het veen niet in een natuurlijke opeenvolging zit en vanwege de snelle afwisseling met kleilagen (wat andere afzettingscondities heeft) wordt ook dit pakket geïnterpreteerd als een onderdeel van dit dijklichaam. Het aanwezige wollegrasveen zou dan duiden op gebruik van locale grondstoffen. De afzettingen eronder, die net boven de Zuiderzee kleilaag zitten, tussen 766 en 943 cm onder de dijk kruin (tussen -474 en -651 cm NAP), kunnen zowel natuurlijke als antropogene afzettingen zijn. Het laagje Wollegrasveen, buiten de natuurlijke context, leidt

ertoe dat voorlopig deze afzettingen als onderdeel van de dijk worden geïnterpreteerd. Dat zou betekenen dat het oude maaiveld op deze locatie op -651 cm NAP ligt. Dit komt goed overeen met de interpretatie van het oude maaiveld op -680 cm NAP in dezelfde boring zoals gedaan in De Bruin et al. (2012). Het dikke pakket niet-natuurlijke afzettingen op deze locatie kan verband houden met de vorming van het Kinselmeer (tijdens een dijkdoorbraak als gevolg van de Allerheiligenvloed van 1570; Stichting voor Bodemkartering, 1965; Provincie Noord-Holland, 2004). Juist in het stuk dijk tussen het Kinselmeer en het Markermeer, waar de boring staat, kan erosie opgetreden zijn, wat later opgevuld is met sediment, al dan niet door de mens. Dit kan een verklaring zijn voor de diepe ligging van de natuurlijke afzettingen.

Onder het oligotrofe veen op 1005 cm onder de kruin (tussen -716 en -736 cm NAP) is rietveen met grote zegge en Galigaan aangetroffen. Dit pakket ligt bovenop zeggeveen met varenmateriaal (tussen -736 en -756 cm NAP), wat net als het rietveen hoort bij het mesotrofe complex dat in het proefperceel tot stratigrafische groep 4 wordt gerekend. Tussen 1048 en 1069 cm onder de kruin (tussen -736 en -756 cm NAP) zit een pakket zegge-rietveen dat de eutrofe onderkant is van het veen (vergelijkbaar met stratigrafische groep 5, de rietkleien in het proefperceel). In de beschrijving van deze boring in De Bruin et al. (2012) wordt dit pakket aangeduid als 'Klei, humeus'. Daaronder, tussen 1069 en 1271 cm (tussen -756 en -824 cm NAP) onder de kruin van de dijk zit een pakket klei, met een venige tussenlaag. Dit is de bovenkant van de afzettingen behorend tot het Laagpakket van Wormer, Formatie van Naaldwijk (stratigrafische groep 6 in het proefperceel). De venige tussenlaag zoals aangetroffen bij het Kinselmeer ontbreekt in de handboringen van het proefperceel (Figuur 3.1), maar is in het geotechnisch profiel wel teruggevonden (zie Figuur 3.6). Ook bij het Kinselmeer zit een grovere zavellaag onder de eerste kleilaag van het laagpakket van Wormer (tussen -979 en -1473 cm NAP) en bestaat de onderkant van dit pakket uit een kleilaag (tussen -1181 en -1190 cm NAP), net als in het proefperceel (stratigrafische groep 6). Het basisveen (Basisveen Laag, Formatie van Nieuwkoop, stratigrafische groep 7 in het proefperceel) zit op deze locatie tussen -1190 en -1198 cm NAP (ca 1490 cm onder de kruin van de dijk) en direct daaronder zit het Pleistoceen zand (onder de -1198 cm NAP). Dit is het dekzand (Laagpakket van Wierden, Formatie van Bostel), stratigrafische groep 8 in het proefperceel.

Als de opbouw van de ondergrond onder de kruin van de dijk bij Uitdam-Dorp wordt vergeleken met die van het (naastgelegen) proefperceel, dan vallen grote gelijkenissen op. De globale opbouw bestaande uit Laagpakket van IJe (klei) op oligotroof Hollandveen op mesotroof Hollandveen op eutroof Hollandveen op rietkleien, klei en zavel (Laagpakket van Wormer) is op beide locaties hetzelfde. Onder dijk zijn de veenlagen sterk gecompriëerd in vergelijking met het proefperceel (zie hieronder).

Ook onder dijk bij het Kinselmeer is een opbouw gevonden die vergelijkbaar is met de opbouw van het proefperceel (zie ook De Bruin et al., 2012). Het Pleistoceen is in de boring Kinselmeer wel een meter dieper op -1198 cm aangetroffen in vergelijking met het proefperceel (op -1080 cm). Dit is waarschijnlijk niet het gevolg van samendrukking door het dijklichaam, maar het gevolg van variatie in de hoogte van het Pleistocene landschap over grotere afstanden (zie ook Figuur 3.7). Inderdaad is de top van het Pleistoceen in de andere twee boringen die voor dit project nabij het Kinselmeer zijn gezet in de berm en achterland (De Bruin et al., 2012) terug gevonden op -12 m NAP. Op het dekzand onder de Markermeerdijk bij het Kinselmeer ligt de opeenvolging Basisveen Laag- Laagpakket van Wormer – eutroof Hollandveen Laagpakket – mesotroof Hollandveen Laagpakket – oligotroof Hollandveen Laagpakket- Laag van IJe, Laagpakket van Walcheren. Dit is dezelfde opeenvolging als in het proefperceel. Hoewel de grootschalige opbouw hetzelfde is, zijn er op

kleinere schaal wel een aantal verschillen in de opbouw. De oligotrofe fase in het Hollandveen bij het Kinselmeer is veel dunner. Ook bestaat een groter deel van het eutrofe/mesotrofe veen uit rietveen in het Hollandveen, en is een veenlaag in de bovenste klei in het Laagpakket van Wormer aangetroffen. De zavelfase in het Laagpakket van Wormer is weer relatief dik ten opzichte van het proefperceel. Het is momenteel nog onduidelijk of verschillen op deze kleinere schaal belangrijk zijn voor de sterkte of bezwijkgedrag van de grond bij belasting.

## 5.2 Compactie onder de dijk

De twee hierboven beschreven kernen onder de Markermeerdijk geven de mogelijkheid een analyse te maken van de samendrukking van de grond onder de dijk. Bij deze analyse wordt aangenomen dat de lagen zoals aangetroffen in het gebied zonder belasting min of meer horizontaal lopen. Deze aanname is verantwoord doordat de afzettingen niet als geul- of erosie-vormen voorkomen, in plaats daarvan zijn het subhorizontale Wormer en Hollandveen pakketten. Het profiel over het proefperceel (Figuur 3.6) laat dit ook zien. Er zijn ook natuurlijke variaties in de boven- en onderkant van de verschillende afzettingen die kunnen leiden tot hoogteverschillen van een meter. Dit is meegenomen in de analyse door variatie kleiner dan een meter niet te beschouwen als het resultaat van de compressie door de dijk. Een voorbeeld hiervan is de top van het Pleistoceen dat in het proefperceel een meter hoger ligt dan onder de Markermeerdijk bij het Kinselmeer (zie hierboven), dat door natuurlijke variatie verklaard kan worden. Voor dit specifieke geval lijkt het daarnaast onwaarschijnlijk dat de stabiele Pleistocene ondergrond gecompriemd is door de belasting van de dijk.

In Tabel 5.3 worden de bovengrenzen van de pakketten (stratigrafische groepen) zoals die zijn benoemd in hoofdstuk 3 op de drie verschillende locaties met elkaar vergeleken. Hierbij is een vergelijking gemaakt met het proefperceel en niet met het achterland bij het Kinselmeer (De Bruin et al., 2012), omdat er in het proefperceel een nauwkeuriger stratigrafie aanwezig was.



Tabel 5.3 Ligging van de bovengrenzen van herkende lagen onder de Markermeerdijk bij Uitdam-Dorp en Kinselmeer in vergelijking met de bovengrenzen van dezelfde lagen in het proefperceel bij Uitdam.

Laagnummer	Gemiddeld bovenhoogte in cm onder NAP onder het proefperceel bij Uitdam	Bovenhoogte onder de Markermeerdijk bij Uitdam-Dorp in cm onder NAP (met verschil tov proefperceel)	Bovenhoogte onder de Markermeerdijk bij het Kinselmeer in cm onder NAP (met verschil tov proefperceel)
1 (Laag van IJe)	130 (maaiveld)	516 (-386)	651 (-521)
2 (Hollandveen, oligotrofe fase)	160	526 (-366)	676 (-516)
3 (Complex Hollandveen/kleilagen)	245	-	696 (-451)
4 (Hollandveen, zeggeveen)	330	551 (-221)	716 (-386)
5 (Laagpakket van Wormer, Rietklei)	630	624 (+6)	-
6a (Laagpakket van Wormer, bovenste kleilig pakket)	660	-	756 (-96)
6b (Laagpakket van Wormer, zavel fase)	780	694 (+86)	979 (-199)
6c (Laagpakket van Wormer, onderste kleilig pakket)	970	963 (+7)	1181 (-221)
7 (Basisveen Laag)	1040	-	1190 (-150)
8 (Dekzand)	1070	-	1198 (-128)

Uit Tabel 5.3 wordt het duidelijk dat er onder de Markermeerdijk grote compressie van de natuurlijke lagen heeft plaats gevonden. Ligt in het proefperceel het maaiveld 130 cm onder NAP, onder de dijk wordt (hoewel niet altijd duidelijk herkenbaar, zie hierboven) het oude maaiveld terug gevonden op meer dan 5 meter (Uitdam-Dorp) en meer dan 6 meter (Kinselmeer) onder NAP terug gevonden. Dit betekent een compactie van bijna 4 meter (Uitdam-Dorp) of meer dan 5 meter (Kinselmeer). Onder de Markermeerdijk bij Uitdam-Dorp neemt, zoals verwacht, de compactie bij steeds diepere lagen af omdat de bovenliggende lagen een deel van de totale compactie van het Holocene pakket op zich hebben genomen. De top van het oligotrofe Hollandveen is in orde grootte evenveel gezakt als de bovenliggende klei (dus de klei heeft als laag weinig compressie ondergaan). De top van het zeggeveen in het Hollandveen ligt echter nog 221 cm dieper dan in het proefperceel. Dit betekent dat een deel van de compactie is veroorzaakt door het samendrukken van het oligotrofe veen (ca 1.5 meter samendrukking). De top van het Laagpakket van Wormer (klei) ligt ongeveer op dezelfde hoogte als de top van het Laagpakket van Wormer in het proefperceel. De zeggeveenen zijn daarmee ruim 2 meter gecompriemd. Dit betekent ook dat de kleien van het Laagpakket niet tot nauwelijks gecompriemd zijn. Dit is opmerkelijk omdat in de boringen uitgevoerd in het proefperceel de top van het Laagpakket van Wormer

erg slap was. Mogelijk heeft de opwaartse waterdruk compressie van dit pakket tegengegaan. De verschillen tussen de top van het zavelpakket en het onderste kleipakket in het Laagpakket van Wormer op de twee locaties zijn klein en worden beschouwd als natuurlijke variaties.

Onder de dijk bij het Kinselmeer is het oude maaiveld ruim 5 meter lager terug gevonden dan het maaiveld in het proefperceel. Hierbij moet opgemerkt worden dat deze locatie veel verder van het proefperceel af ligt (ca 5 km), waardoor de vergelijking met het proefperceel een grotere onzekerheid kent. Opnieuw is de compactie van de top van de Laag van IJe en de top van het oligotrofe Hollandveen van dezelfde orde grootte, waardoor de bovenste kleilaag weinig gecompriëerd lijkt. De top van het zeggeveen in het Hollandveen ligt bijna 4 meter lager dan hetzelfde veen in het proefperceel. De compactie van het bovenste deel van het Hollandveenpakket zou daarmee 1.5 meter zijn, hetzelfde als onder de dijk bij Uitdam-Dorp (zie hierboven). De top van het bovenste kleiige pakket in het Laagpakket van Wormer ligt ca 1 meter onder de top van dezelfde laag in het proefperceel. In het achterland bij het Kinselmeer (De Bruin et al., 2012) ligt deze veen/klei overgang - in niet gecompriëerde staat - op -730 cm NAP. Dit is slechts 26 cm hoger dan onder de dijk, wat opnieuw aangeeft dat er nauwelijks compressie is opgetreden van de kleien in het Laagpakket van Wormer. Dat zou betekenen dat het zeggeveen in het Hollandveen bijna 4 meter samen gedrukt is. Veel meer dan onder de dijk bij Uitdam-Dorp (zie hierboven), hoewel ook hier de grootste compressie plaats vindt in het zeggeveen. De top van de zavel fase en het onderste kleipakket in het Laagpakket van Wormer laat weer een grotere daling (ca 2 meter) zien ten opzichte van het proefperceel dan de top van het bovenste kleipakket. In vergelijking met de boring in het achterland van de locatie Kinselmeer (De Bruin et al., 2012) ligt deze top (-860 cm NAP) overigens maar 1 m lager. Omdat de top van het bovenste kleipakket minder gedaald is (zie hierboven) en het onwaarschijnlijk is dat de dieper gelegen kleien en zavels zo sterk comprimeren, wordt het hoogteverschil geïnterpreteerd als natuurlijke variatie in de afzettingen. De top van het basisveen en het dekzand onder de dijk liggen op dezelfde hoogte als de top van het dekzand (-1200 cm NAP) zoals aangetroffen in het achterland van het Kinselmeer (De Bruin et al., 2012). De variatie tussen het Kinselmeer en het proefperceel is (1.5 en ruim 1 meter, Tabel 5.3) is dus het gevolg van natuurlijke variatie.

De grootste compressie onder de Markermeerdijk is terug te vinden in het veenpakket. De totale compressie is in de orde grootte van bijna 4-5 meter. Hiervan is ongeveer 1.5 meter het gevolg van compressie van de top van het Hollandveen (oligotrofe venen) en de rest van compressie van de zeggevenen die het onderste deel van het Hollandveen uitmaakt. Vergelijkende metingen van de bulk dichtheid van deze venen zowel onder de dijk, als erachter, kan een alternatieve manier zijn om dit resultaat te toetsen. Hetzelfde geldt voor de waarneming dat de (slappe) kleien nauwelijks samengedrukt zijn: ook hier kan een vergelijking tussen bulk dichtheidmetingen van de klei onder de dijk en in het achterland een mogelijkheid zijn deze waarneming onafhankelijk te toetsen.

### 5.3 Overige dwarsprofielen langs het dijktraject Amsterdam-Hoorn

Van de overige boringen langs het dijktraject Amsterdam-Hoorn is, gebaseerd op de regionale geologie, bepaald in welke mate de boorlocaties in naastliggende dijktrajecten mogelijk kunnen afwijken van het proefperceel bij Uitdam. Het betreft hier boringen in 3 locaties van noord naar zuid: Hoorn (Hoornse Hop, Dijkvak 20, Dijkpaal 34); Warder (Dijkvak 23; Dijkpaal 64) en Uitdam-Jachthaven (Dijkvak 28; Dijkpaal 63).

### 5.3.1 Locatie Hoorn (20/34)

De locatie Hoorn heeft een duidelijk andere geologische opbouw dan het proefperceel bij Uitdam. De top van het Pleistoceen ligt hier dieper (rond of onder de -16 m NAP, Vos et al., 2011). Daarnaast ligt de locatie Hoorn in het Vroeg-Holoceen in de Overijsselse Vechtvallei, waardoor er beekafzettingen aanwezig kunnen zijn (zie ook hoofdstuk 3.1). Of de Basisveenlaag (Formatie van Nieuwkoop) aanwezig is, is moeilijk te voorspellen, die kan opgeruimd zijn door de beekactiviteit, of nooit afgezet zijn. Op de locatie Hoorn zijn binnen dit project drie boringen gezet op de kruin van de dijk, in de berm van de dijk en in het achterland van de dijk (De Bruin et al., 2012). In deze boringen ligt de top van het Pleistoceen op 15.8 en 16.2 m – NAP en is de Basisveen Laag aanwezig. Het is echter mogelijk dat op andere plekken onder de dijk zowel het basisveen, als eventuele beekafzettingen en het dekzand opgeruimd zijn door latere Wormer-geulen. Als dat het geval is, ligt de top van het Pleistoceen veel dieper, waarschijnlijk onder de -20 meter NAP. De afzettingen van het Laagpakket van Wormer (Formatie van Naaldwijk) zullen op deze locatie zandiger zijn dan in Uitdam, omdat hier het getijdengebied veel meer open geweest is. Dit wordt ook bevestigd door de boringen die binnen dit project op deze locatie zijn gezet (De Bruin et al., 2012), waarin 5 meter zand is aangetroffen. In het Overijsselse Vechtdal heeft dat geleid tot het ontstaan van het Zeegat van Bergen dat een open verbinding had met de Noordzee. Het Zeegat van Bergen is ook lang open gebleven, waardoor veengroei in de locatie Hoorn zeer waarschijnlijk later begon (Figuren 3.2 en 3.3). Het resultaat is dat de afzettingen van het Laagpakket van Wormer dikker zullen zijn dan in Uitdam (onderkant ligt ook dieper doordat het Pleistocene vlak dieper ligt). Uiteindelijk groeit ook op de locatie Hoorn veen, maar de botanische samenstelling, trofieklasse en mate van minerale bijdrage daarvan is niet in te schatten. In Figuur 3.5 rekenen Pons & Van Oosten (1974) deze locatie wel tot het gebied met veenmosveen (oligotroof). Het veen in de locatie Hoorn is veel dunner dan in de locatie Uitdam, niet alleen door een andere afzettingsgeschiedenis (zie hierboven), maar ook doordat het veendek in West-Friesland grootschalig geoxideerd is. Het is daardoor de vraag of er nog veel veen onder de dijk bij de locatie Hoorn aanwezig is. In de boringen rondom deze locatie uit de DINO database werd slechts op 1 plek 2.5 meter veen gevonden, verder ontbrak het veen geheel. In de boringen die op de locatie Hoorn op de kruin, berm en in het achterland van de dijk werden gezet, werd in het achterland geen veen aangetroffen en onder de kruin en berm wel, tot 4 meter (De Bruin et al., 2012). Dat laatste lijkt erg dik en mogelijk is hier een deel van het (organische) dijklichaam als (natuurlijke) veenafzetting geïnterpreteerd.

### 5.3.2 Locatie Warder (23/64)

De locatie Warder lijkt in een aantal opzichten op de locatie Hoorn. Het ligt, net als de locatie Hoorn, in het dal van de proto-Overijsselse Vecht. Ook hier ligt de top van het Pleistoceen mogelijk diep, rond of onder de -16 m NAP, en ook hier kan het uit dekzand bestaan, of uit beekafzettingen (deels ook uit het vroeg-Holoceen). In de boringen die voor dit project op de kruin, in de berm en in het achterland op deze locatie gezet (De Bruin et al., 2012) ligt de top van het Pleistoceen inderdaad op ca 17.2 meter –NAP. Warder ligt ook in het Zeegat van Bergen en ook hier kunnen op bepaalde delen onder de dijk Wormer geulen er voor gezorgd hebben dat de Basisveen Laag (als die al was afgezet) en het dekzand geërodeerd zijn. In ieder geval zullen de afzettingen van het Laagpakket van Wormer veel zandiger zijn dan in de locatie Uitdam-Dorp (het proefperceel). Dat is ook aangetroffen in de boringen die voor dit project hier gezet zijn (De Bruin et al., 2012), die ongeveer 2 meter zand bevatten. Het veen begint hier te groeien zodra het Zeegat van Bergen begint te sluiten, dat betekent voor deze locatie dat de veengroei (Hollandveen Laagpakket, Formatie van Nieuwkoop) later begint dan in Uitdam, maar waarschijnlijk wel iets eerder dan in de locatie Hoorn. Het noordelijke deel van het getijdenbekken van het Zeegat van Bergen lijkt als laatste dicht te gaan (Vos et al., 2011; Figuren 3.2 en 3.3). Ook hier is de samenstelling en kleiigheid van het veen moeilijk te

voorspellen. Pons & Van Oosten (1974, Figuur 3.5) geven voor dit gebied ook veenmosveen aan als veensoort, maar iets ten zuiden van Warder is een zeggeveen (mesotroof) gebied ingetekend. Omdat het veen hier dikker is dan in de locatie Hoorn (omdat het eerder begon te groeien) is de kans op de aanwezigheid van een veenpakket op deze locatie groter. In de boringen in de DINO-database werden in de meeste boringen en veenpakket van 1-1.5 meter aangetroffen. Meer dan bij de locatie Hoorn (zie paragraaf 5.3.1) is aangetroffen, maar beduidend minder dan op de locatie Uitdam (proefperceel). Een kleidekje aan de top is hier ook vaak aanwezig. In de boringen op de kruin en berm van dijk (De Bruin et al., 2012) is ongeveer 2.5 meter veen aangetroffen, in het achterland 0.7 meter.

### 5.3.3 Locatie Uitdam-Jachthaven (28/63)

De locatie Uitdam-Jachthaven ligt vlak bij de locatie Uitdam-Dorp (ca 1 km), en daarmee vlakbij het proefperceel Uitdam. Hierdoor zullen de overeenkomsten tussen deze locatie en het proefperceel groter zijn dan het geval was bij de twee locaties meer naar het noorden. In de boringen die op deze locatie binnen dit project zijn gezet (De Bruin et al., 2012) het Pleistoceen aangetroffen op -11.7 m NAP. Er is een grote kans dat de Pleistocene afzettingen hier uit dekzand bestaan en dat ze worden afgedekt door basisveen. Er is een kleine kans dat delen van de dijk net aan het einde van een van de zijtakken van het Overijsselse Vecht beekstelsysteem liggen (Vos et al., 2011), wat gevolgen kan hebben voor de ligging van het Pleistoceen en de aanwezigheid van de Basisveen Laag. Ook wat betreft de afzettingen van het Laagpakket van Wormer is er geen reden om aan te nemen dat die wezenlijk verschillen van die in het proefperceel. In de boringen gezet voor dit project (De Bruin et al., 2012) lijken de afzettingen in het Laagpakket van Wormer wel iets zandiger (inclusief een 1 meter dik zandpakket). Het begin van de veengroei zal hier ook ongeveer op hetzelfde moment beginnen als in het proefperceel, hoewel lokale verschillen kunnen optreden. In de samenstelling van het veen zelf kunnen wel verschillen zitten. Pons en Van Oosten (1974, Figuur 3.5) laten zien dat op deze locatie een waterloop zich in het veengebied bevond, dat de hogere oligotrofe delen afwaterde. Langs deze waterloop groeiden riet en zegge, en de resten kunnen als veen ook in de ondergrond van delen van het dijktraject worden aangetroffen. De Laag van IJe zal ook hier het veenpakket afdekken. Uit de boringen in de DINO-database beek ook dat er geen grote verschillen in de opbouw zijn tussen de locatie Uitdam-Jachthaven en Uitdam-Dorp, hoewel de top van het Pleistoceen leek in de eerstgenoemde ca 1 meter lager te liggen. Ook de boringen die op de dijk, in de berm en in het achterland zijn gezet op deze locatie (De Bruin et al., 2012) bevestigen dat de dikte van het veen hier inderdaad niet veel verschilt van het proefperceel.



## 6 Conclusies

- De classificatiesystemen voor veen zoals beschreven in de SBB (geologisch) en de GCV (geotechnisch) zijn zeer uitgebreid en daarom tijdrovend voor grote hoeveelheden monsters. Voor dit rapport zijn de analyses aangepast om in het laboratorium snel grote hoeveelheden monsters kwalitatief te beschrijven op eigenschappen die een relatie hebben met de sterkte en het geomechanisch gedrag.
- Voor een goede veenclassificatie van grondmonsters is het belangrijk om eerst een goed beeld te krijgen van de geologische opbouw van het studiegebied. Hiermee kunnen de monsters in een ruimtelijk beeld van de veenontwikkeling worden beschouwd wat de classificatie snelheid en nauwkeurigheid verbetert.
- Het proefperceel bij Uitdam heeft een klassieke Holocene kustvlakte opeenvolging met dekzand (op -11 m NAP), dat wordt afgedekt door 30 cm basisveen, 4 meter Wormer afzettingen (kleien en zavels), 5 meter Hollandveen en 30 cm Zuiderzee kleidek aan het maaiveld.
- Op de schaal van het proefperceel is de opbouw van de ondergrond over het algemeen homogeen, de bovengenoemde opeenvolging is in het hele perceel aanwezig op dezelfde dieptes. De variatie die is aangetroffen beperkt zich tot veranderingen in veensoortensequenties in het proefperceel en de diepteligging van kleilagen en – inschakelingen.
- In het Hollandveen bij Uitdam komen alle veensoorten voor die in Nederland worden onderscheiden. De bulk van het veen bestaat uit zeggeveen, met daarnaast aanzienlijke voorkomens van heide-, wollegras- en rietveen. Veenmos-, mos- en Scheuchzeriaveen komen alleen als dunne pakketten bovenin de opeenvolging voor. De opeenvolging in het veen laat een karakteristieke verlanding zien in de tijd, met meerdere fasen, van eutrofe naar mesotrofe naar oligotrofe omstandigheden. Deze afname in nutriënten rijkdom hangt samen met de overgang van een sedimentrijk open water milieu (met getijden kleien afzettingen) naar een sedimentarm hoogveen.
- In de inspectiesleuven bleek er geen duidelijke relatie te bestaan tussen de aanwijzingen in het veld voor het bezwijken (breukvlakken, scheuren, etc.) en de aangetroffen veensoorten. De verticale scheuren en breuken aan de achter- en slootkant van de containers gaan dwars door de beschreven veenlagen heen. Langs de breuken is relatief weinig vervorming opgetreden in het veen en waar dit wel gebeurde ontstonden de breuken onafhankelijk van de veensoort. Het subhorizontale schuifvlak aan de onderkant van de verschoven grondmoot bevond zich in het zeggeveen, juist een van de meest homogene veensoorten in de sequentie. Opvallend is verder dat de complete vervorming in het veenpakket heeft plaatsgevonden, de onder- en tussenliggende kleien spelen geen rol van betekenis.

- De grootste compressie onder de Markermeerdijk is terug te vinden in het veenpakket. De totale compressie is in de orde grootte van 4-5 meter. Hiervan is ongeveer 1.5 meter het gevolg van compressie van de top van het Hollandveen (oligotrofe venen) en de rest van compressie van de zeggevenen waaruit het onderste deel van het Hollandveen bestaat.

## 7 Aanbevelingen

- Voor dit onderzoek is een uitgebreide analyse gemaakt van de samenstelling van het veen in het proefperceel. Omdat deze analyses zijn gedaan op dezelfde monsters waarop ook de geotechnische proeven zijn gedaan levert dit een unieke dataset op. Het is een aanbeveling om in een volgende stap correlaties te maken tussen geotechnische gedrag van de grond en de samenstelling. Dit kan aan de ene kant helpen bij het verklaren van het waargenomen geotechnisch gedrag van de monsters, en aan de andere kant kan dit een dataset opleveren van sterkteparameters per grondsoort of veenklasse. Vooral dat laatste is interessant: als er een correlatie wordt gevonden tussen veenclassificatie en sterkte, dan kan een kartering van veensoorten onder de Markermeerdijk (of dijken in het algemeen) helpen bij het beter bepalen en voorspellen van de sterkte van dijken op veen. De uitgevoerde beschrijvingen, in combinatie met het terreinonderzoek, vormen als oriëntatie een goede basis om in het vervolgonderzoek van het veen onder en in de omgeving van de Markermeerdijk de geotechnische bevindingen te kunnen opschalen.
- Een eerste analyse van boringen die op andere locaties langs het dijktraject Amsterdam-Hoorn zijn gestoken wees uit dat er – ondanks overeenkomsten - toch een aantal verschillen aanwezig zijn. Deze kunnen lokaal zijn, of juist regionaal. Met extra boringen kan in de omgeving van de plekken langs de dijk de lokale opbouw van de ondergrond bepaald worden. Dit zou samengevat kunnen worden in een geologisch profiel langs het hele dijktraject, waarbij met nadruk wordt gelet op de veenopeenvolging (zie ook hierboven).
- Uit de analyse van de hoogteligging van de stratigrafische groepen onder de Markermeerdijk bleek dat de venen hier sterk gecompriëerd zijn en de onderliggende (slappe) kleien juist niet. Dit soort waarnemingen zijn vooralsnog zeldzaam en bieden informatie over de samendrukkinggevoeligheid van verschillende venen en kleien. Vergelijkende metingen van de bulk dichtheden van de venen en kleien zowel onder de dijk, als erachter, kan een alternatieve manier zijn om deze waarnemingen te toetsen en kan helpen bij het berekenen van verschillen in samendrukking tussen verschillende veensoorten.
- In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de boorbeschrijvingen om de compressie van de lagen onder de dijk te bepalen. Een van de lastigste aspecten hiervan is het bepalen van het oude maaiveld in de boringen. Nader onderzoek zou dit proces kunnen versnellen en verbeteren, bijvoorbeeld door te kijken naar palaeo-maaiveld indicatoren zoals bodemvormingsprocessen, veraardingshorizonten of wortelstokkenniveaus.





## 8 Referentielijst

Berendsen, H.J.A., Stouthamer, E., 2001. Palaeogeographic development of the Rhine-Meuse delta, The Netherlands. Koninklijke Van Gorcum, Assen, 268 pp.

Bos, I.J., Busschers, F., Hoek, W.Z., 2012. Organic-facies determination: a key for understanding facies distribution in the basal peat layer of the Holocene Rhine-Meuse delta, The Netherlands. *Sedimentology* 59 (2), 676-703.

Bosch, J.H.A., 2000. Standaard Boor Beschrijvingsmethode, versie 5.1. TNO, Zwolle, NITG 00-141-AA, 93 pp.

de Bruin, H., Zwanenburg, C, De Vries, G., 2012. Dijken op Veen – eindrapport. Deltares rapportnummer 1203768-000.

Erkens, G., Van den Berg, M., Griffioen, J., 2011. Veen en Geo-informatievoorziening door TNO. TNO-rapport TNO-060-UT-2011-01127A, Utrecht, 54 pp.

Grosse-Brauckmann, G., 1972. Über pflanzliche Makrofossilien mitteleuropäischer Torfe. I. Gewebereste krautiger Pflanzen und ihre Merkmale. *Telma* 2: 19-55.

Grosse-Brauckmann, G., 1974. Über pflanzliche Makrofossilien mitteleuropäischer Torfe. II. Weitere Reste (Früchte und Samen, Moose u.a.) und ihre Bestimmungsmöglichkeiten. *Telma* 4: 51-117.

Grosse-Brauckmann, G., 1992. Über pflanzliche Makrofossilien mitteleuropäischer Torfe. III. Früchte, Samen und einige Gewebe. *Telma* 22: 53-102.

Den Haan, E.J., 1987. Veen: een grondmechanisch probleem – rapport van een literatuurstudie. *Grondmechanica Delft rapport CO-416731/24*.

Lévesque, P.E.M., Diné, H., Larouche, A., 1988. Guide to the identification of plant macrofossils in Canadian peatlands. Land Resource Research Centre, Publication No. 1817, Ottawa, 65 pp.

Mauquoy, D., van Geel, B., 2007. Mire and peat macros. In: S.A. Elias (ed.) *Encyclopedia of quaternary science* 3: 2315-2336, Elsevier, Amsterdam.

Meier-Uhlherr, R., C. Schultz, Luthardt, V., 2011. Steckbriefe Moorsubstrate. HNE Eberswalde, Berlin, [www.mire-substrates.com](http://www.mire-substrates.com).

Overbeck, F., 1975. Botanisch-geologische Moorkunde. Karl Wachholz Verlag, Neumünster, In het bijzonder III. Die Torfarten, p.68-114.

Pons, L.J., van Oosten, M.F., 1974. De Bodem van Noordholland. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, 193 pp.

Provincie Noord-Holland, 2004. Beschrijving van de Noorder IJ- en Zeedijken deel 1 en 2. Uitgave Provincie Noord-Holland, 57 pp.

Stichting voor Bodemkartering, 1965. Bodemkaart van Nederland schaal 1:50 000, toelichting bij kaartblad 25 Oost Amsterdam. Wageningen, 105 pp.

TAW, 1996. Technisch rapport Geotechnische Classificatie van Veen. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, TR-16, 103 pp.

Venmans, A.A.M., Dekker, J., Sip, J.W., 1989. Classificatie van veen en organische gronden. Grondmechanica Delft rapport CO-305863/6.

Verry, E.S., Boelter, D.H., Päivänen, J., Nichols, D.S., Malterer, T., Gafni, A., 2011. Physical properties of organic soils. In: K.N. Brooks (ed.) Peatland biogeochemistry and watershed hydrology at the Marcell Experimental Forest. CRC Press, p.135-176.

Visscher, J., 1949. Veevorming. Noorduijn's wetenschappelijke reeks, no. 33, Gorinchem, 115 pp.

Vos, P.C., Bazelmans, J., Weerts, H.J.T., Van der Meulen, M.J. (red.), 2011. Atlas van Nederland in het Holoceen, Amsterdam, 94 pp.

Westerhoff, W.E., T.E. Wong, de Mulder, E.F.J., 2003. Opbouw van de ondergrond. In: De Mulder, E.F.J., Geluk, M.C., Ritsema, I, Westerhoff, W.E, Wong T.E., 2003. De ondergrond van Nederland. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, p.249-352.

Zwanenburg, C., 2012 Dijken op Veen, analyse veldproeven, Deltares rapportnummer 1203768-012-GEO-0004.

# A Exceltabel met veenclassificaties

Keerhoofden (m)	Veendiepte	Organisch	Amorfe	Grondstoffen	Versoort	Charakteristieke	Maatstaven	Keerhoofden
1.25								1.25
1.26								1.26
1.27								1.27
1.28								1.28
1.29								1.29
1.30								1.30
1.31								1.31
1.32								1.32
1.33								1.33
1.34								1.34
1.35								1.35
1.36								1.36
1.37								1.37
1.38								1.38
1.39								1.39
1.40								1.40
1.41								1.41
1.42								1.42
1.43								1.43
1.44								1.44
1.45								1.45
1.46								1.46
1.47								1.47
1.48								1.48
1.49								1.49
1.50								1.50
1.51								1.51
1.52								1.52
1.53								1.53
1.54								1.54
1.55								1.55
1.56								1.56
1.57								1.57
1.58								1.58
1.59								1.59
1.60								1.60
1.61								1.61
1.62								1.62
1.63								1.63
1.64								1.64
1.65								1.65
1.66								1.66
1.67								1.67
1.68								1.68
1.69								1.69
1.70								1.70
1.71								1.71
1.72								1.72
1.73								1.73
1.74								1.74
1.75								1.75
1.76								1.76
1.77								1.77
1.78								1.78
1.79								1.79
1.80								1.80
1.81								1.81
1.82								1.82
1.83								1.83
1.84								1.84
1.85								1.85
1.86								1.86
1.87								1.87
1.88								1.88
1.89								1.89
1.90								1.90
1.91								1.91
1.92								1.92
1.93								1.93
1.94								1.94
1.95								1.95
1.96								1.96
1.97								1.97
1.98								1.98
1.99								1.99
2.00								2.00