



# Geolimpuls

## Langetermijnmetingen en modelvalidatie

### Proefterpen Bloemendalerpolder

Flip J.M. Hoefsloot, Fugro GeoServices

21 november 2012



# Inhoud presentatie

- Introductie van de Bloemendalerpolder
- Doel onderzoek
- Projectplan:
  - Proefopzet
  - Grondonderzoek
  - Monitoring
  
- Waterspanningen tijdens ophogen
- Zettingen: predicties, metingen en evaluatie
- Horizontale grondvervormingen en paalgedrag



# Introductie

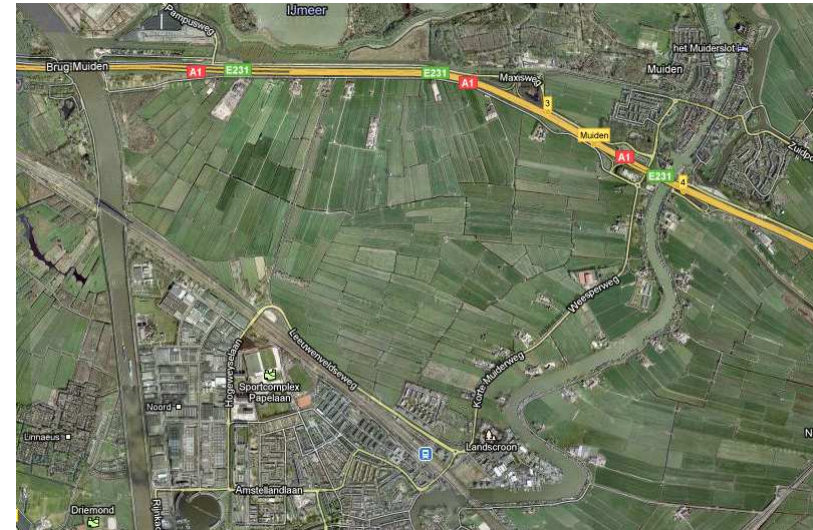


# Introductie



Anno 2012

- Cultuurlandschap
- langgerekte kavels
- veenweidegrond
  
- Gebiedsontwikkeling
- Ca. 2500 woningen
- grootste deel recreatie en natuur



## Doel van het project



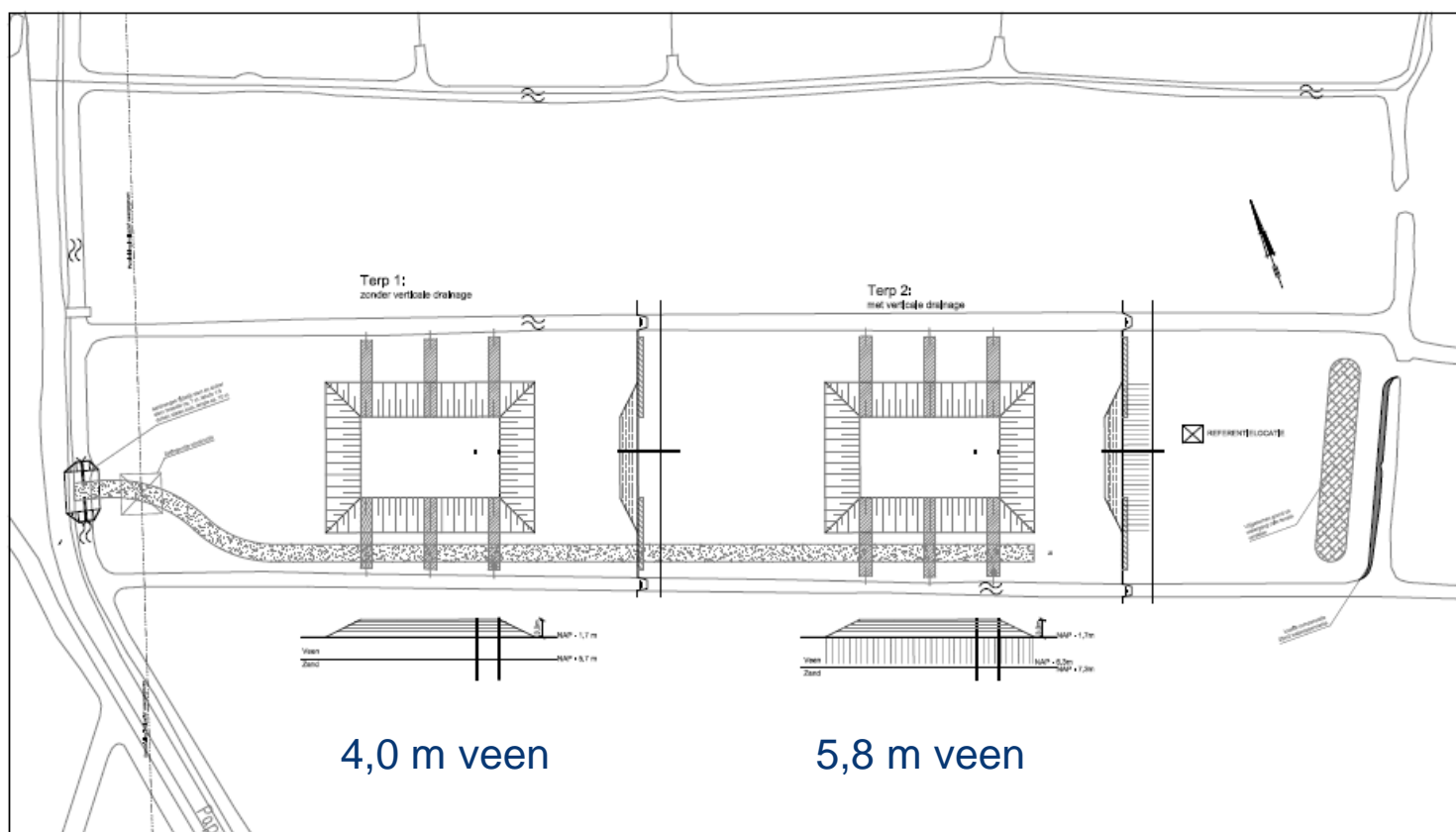
- Projectbureau Bloemendalerpolder:
  - Publiek-Private-Samenwerking (overheden en marktpartijen)
  - Bouwrijp maken – zandophoging op 4 à 8 m veen
  - toepassing van verticale drainage en/of extra overhoogte
  - zettingsgedrag op korte en lange termijn
  - aanleg van proefterpen om het gedrag te onderzoeken (looptijd 1 jaar)
- 
- GeolImpuls – Langetermijnmeting en modelvalidatie (looptijd 5 jaar)
  - zetting van veengrond en achtergrondzetting
  - horizontale vervorming van grond en funderingspalen aan de rand van ophogingen
  - langetermijngedrag onderzoeken
  - modelvalidatie en betere zettingspredicties



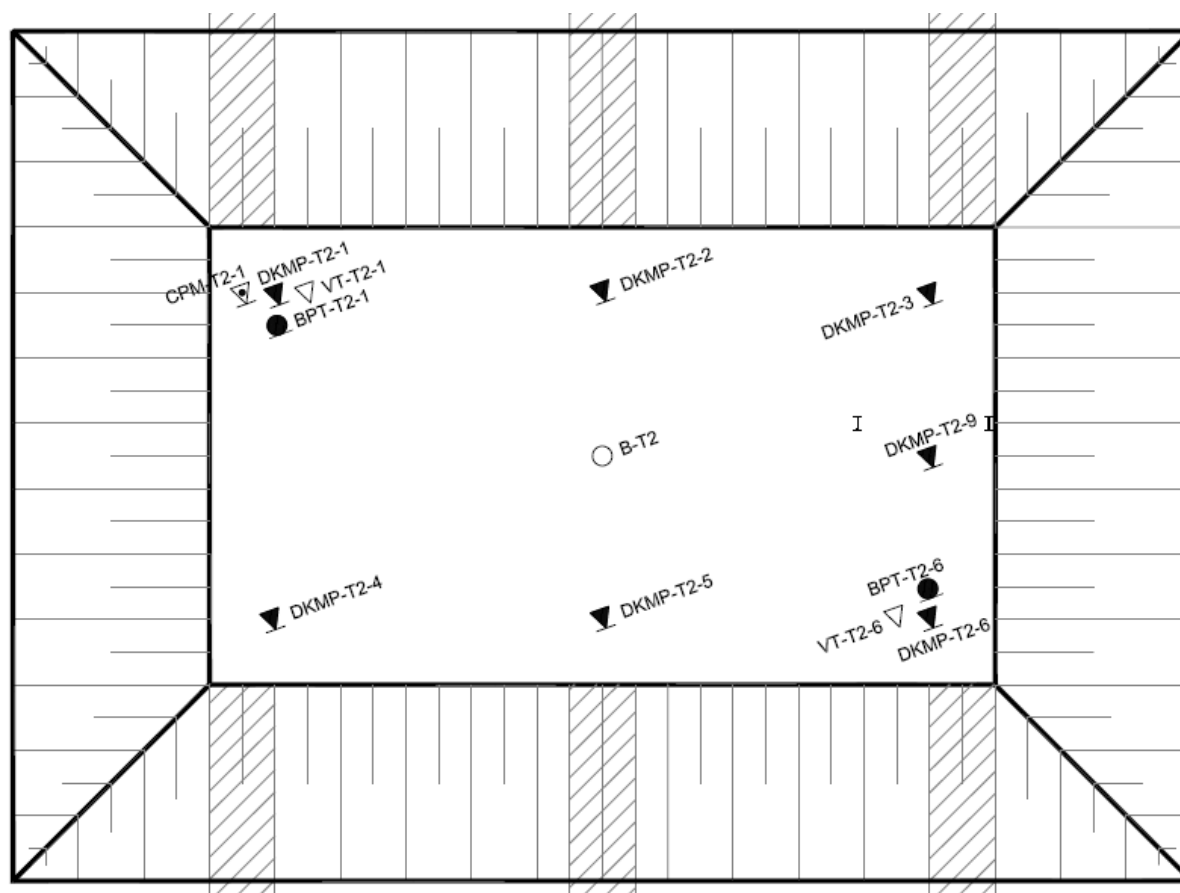
# Projectplan

2 terpen  
 grondoppervlak 26 x 36 m  
 taluds 1:2

ophoging 3,0 m zand, netto ophoging 0,5 m,  
 zetting 2,0 m, extra overhoogte 0,5 m  
 terp 2 met verticale drainage driehoek h.o.h. 1,0 m  
 referentielocatie



# Grond- en laboratoriumonderzoek



## Grondonderzoek:

- 2 Begemann boringen (Deltares)
- 17 Sonderingen
- 11 Vanetesten op 4 locaties
- 4 Bolconussonderingen
- 8 CPM testen op 2 locaties

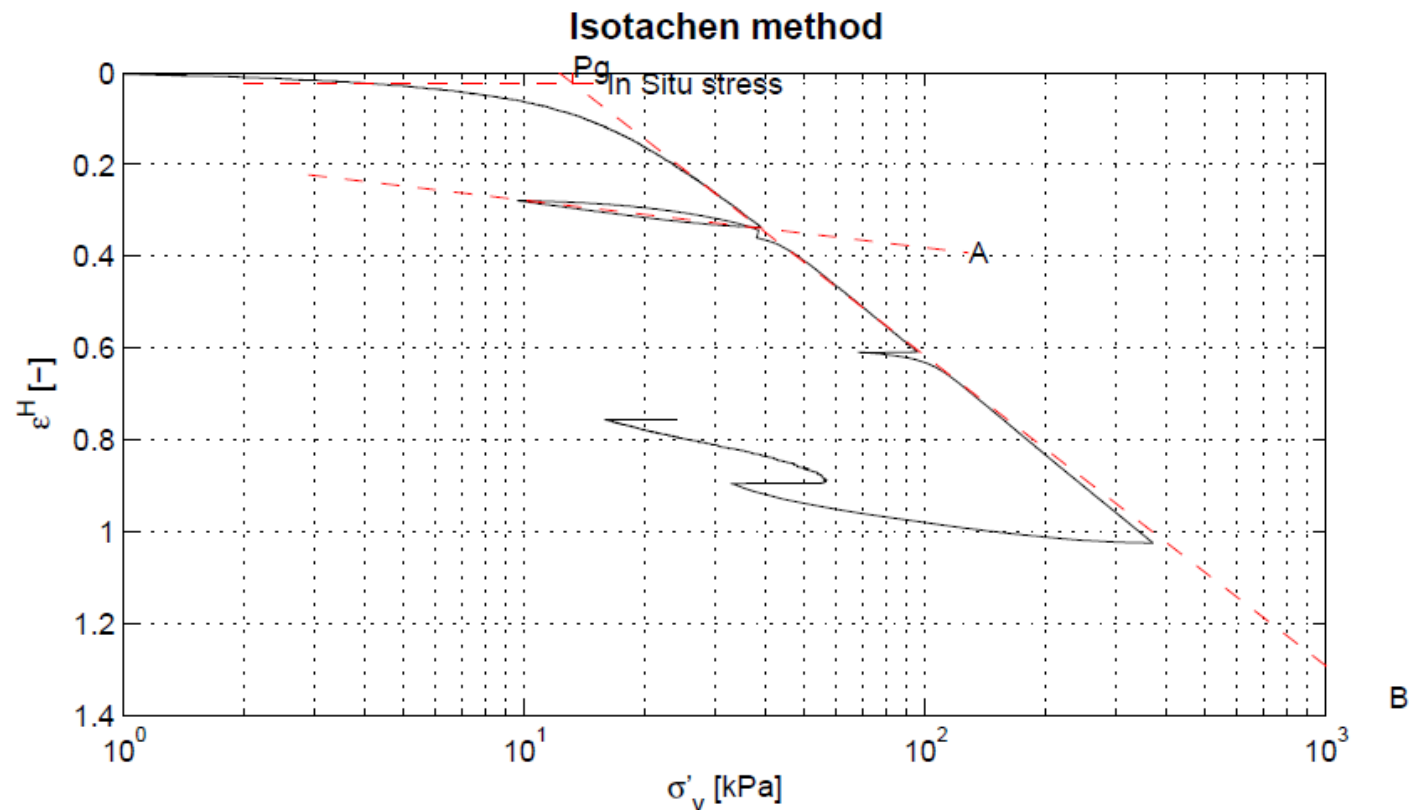
▼ DKMP-T2-11

## Laboratoriumonderzoek:

- classificatieproeven
- triaxiaalproeven
- samendrukkingsproeven
- K0-CRS-proeven

# K<sub>0</sub>-CRS Proeven

- Parameters afleiden uit samendrukkingsproeven en K<sub>0</sub>-CRS proeven
- K<sub>0</sub>-CRS proef vergelijkbaar met een samendrukkingsproef
- Opgelegde constante rek en meting toename van de belasting
- kruipparameter uit relaxatiestap is minder nauwkeurig



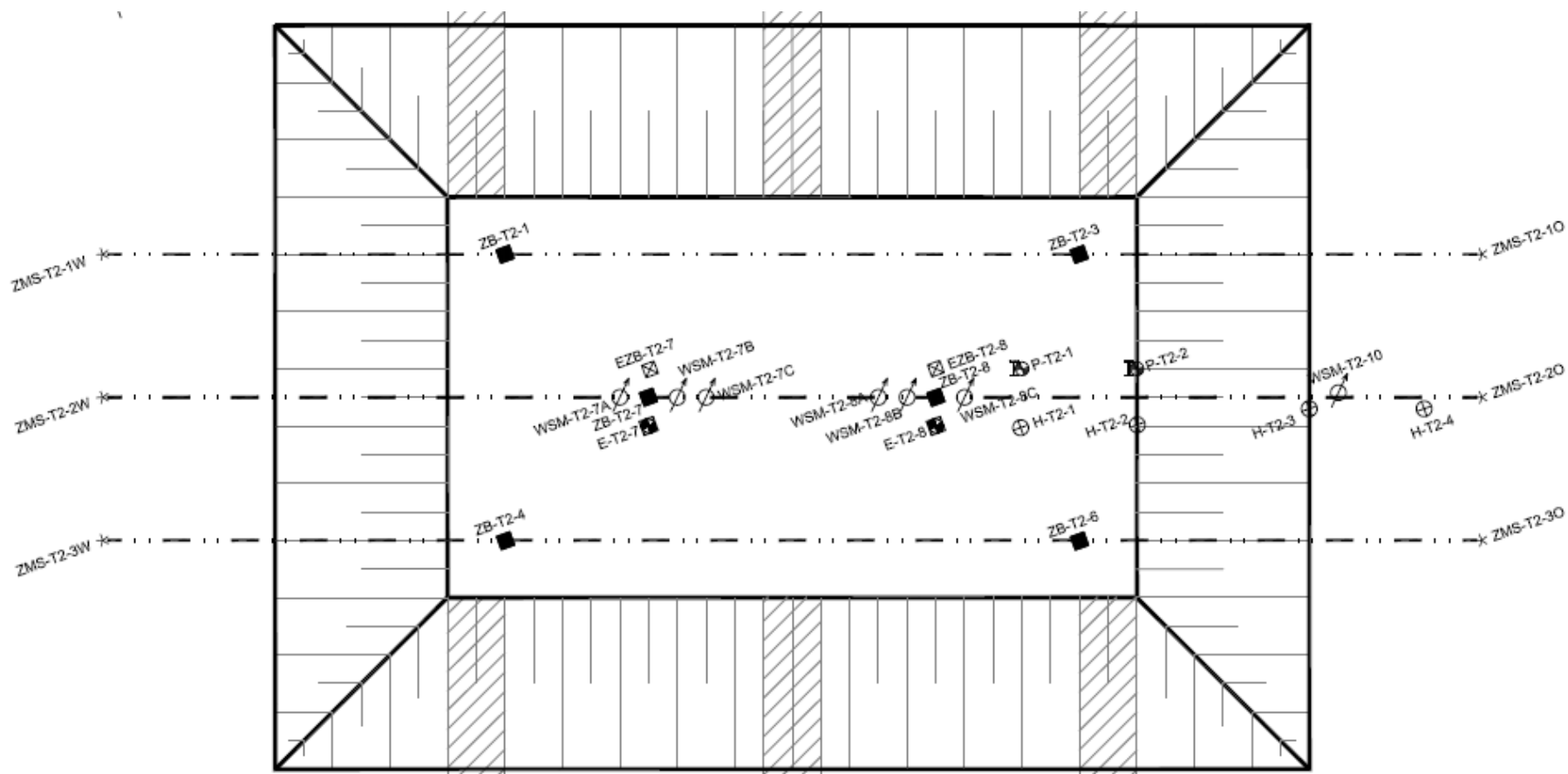


# Monitoring - Instrumentatie

Elke terp:

- 6 zakbaken
- 3 zettingsmeetslangen
- 2 hellingmeetbuizen, teen

- 8 waterspanningsmeters
- 2 extensometers
- 2 stalen palen
- 2 hellingmeetbuizen, kruin



# Monitoring - Instrumentatie

Plaatsing instrumenten voor eerste aanvulling



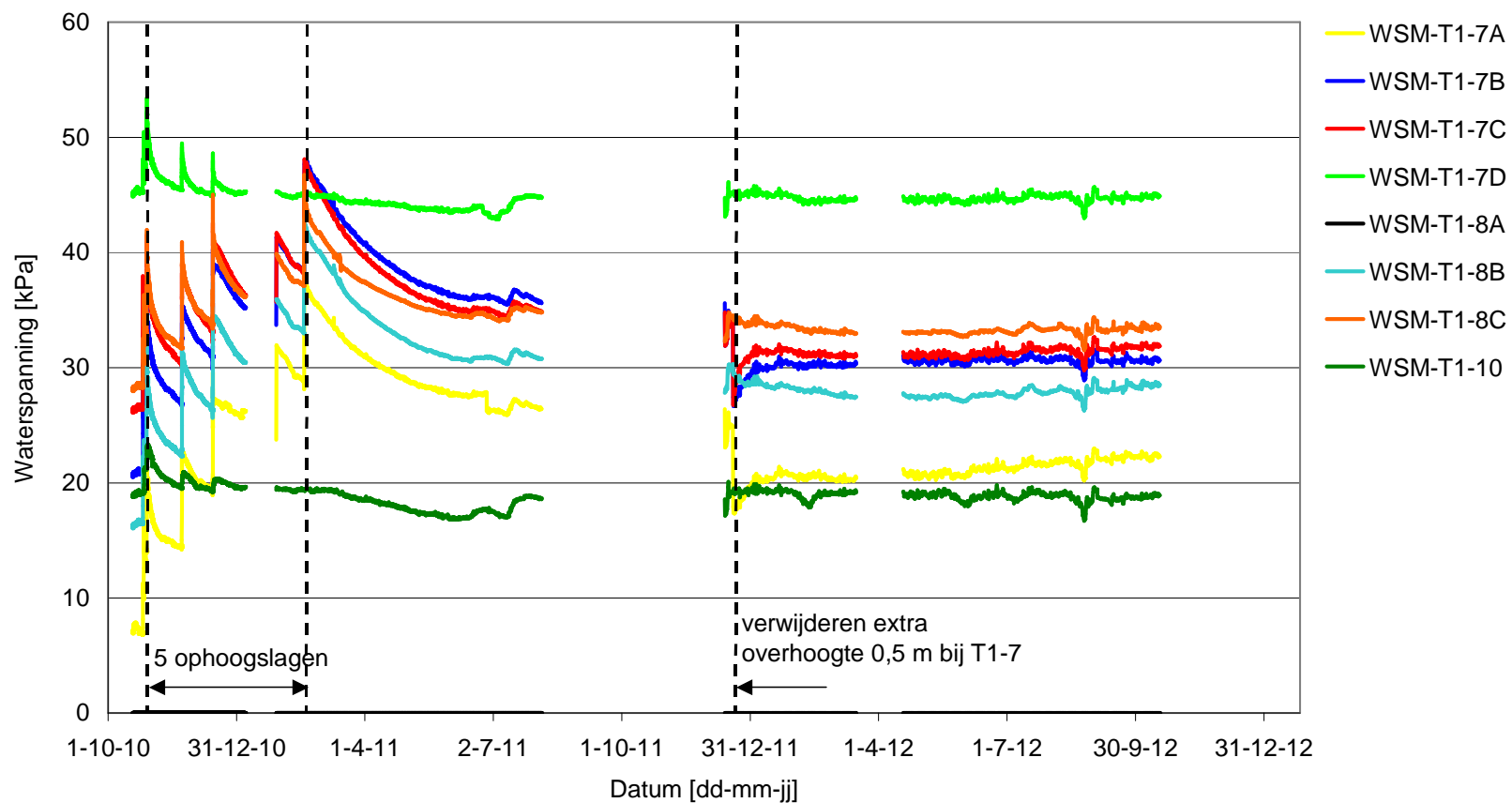
# Ophogtempo - Stabiliteit

Stabiliteit taluds (1:2) tijdens ophogen:

- normale veiligheid tegen afschuiven
- voldoende stabiliteit om horizontale grondvervorming te beperken
- ophogtempo bepaald op basis van afname wateroverspanning
- ophogslagen: gemiddeld 0,5 m elke 3 weken

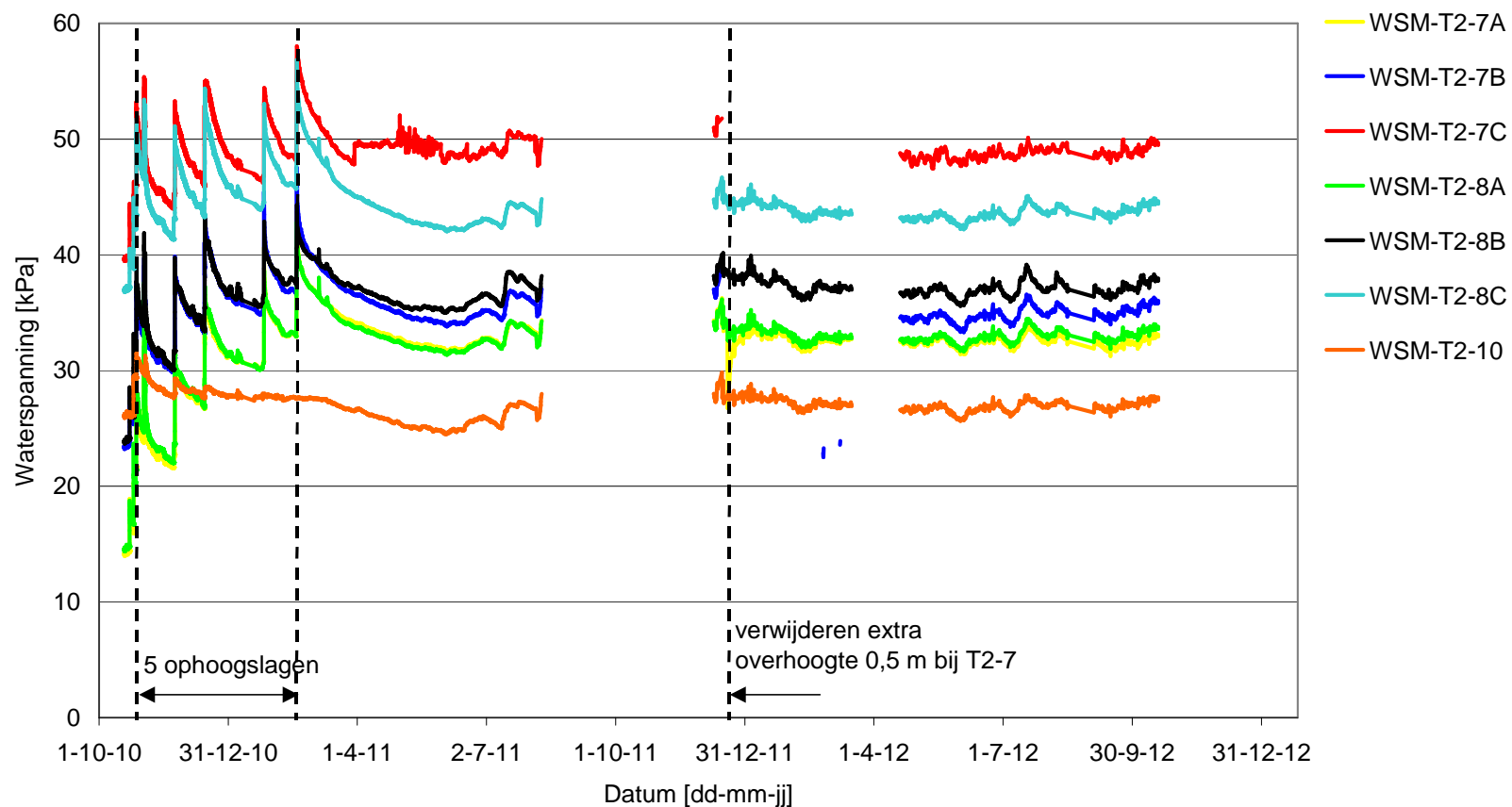
# Waterspanningsmetingen

Terp 1, zonder verticale drainage

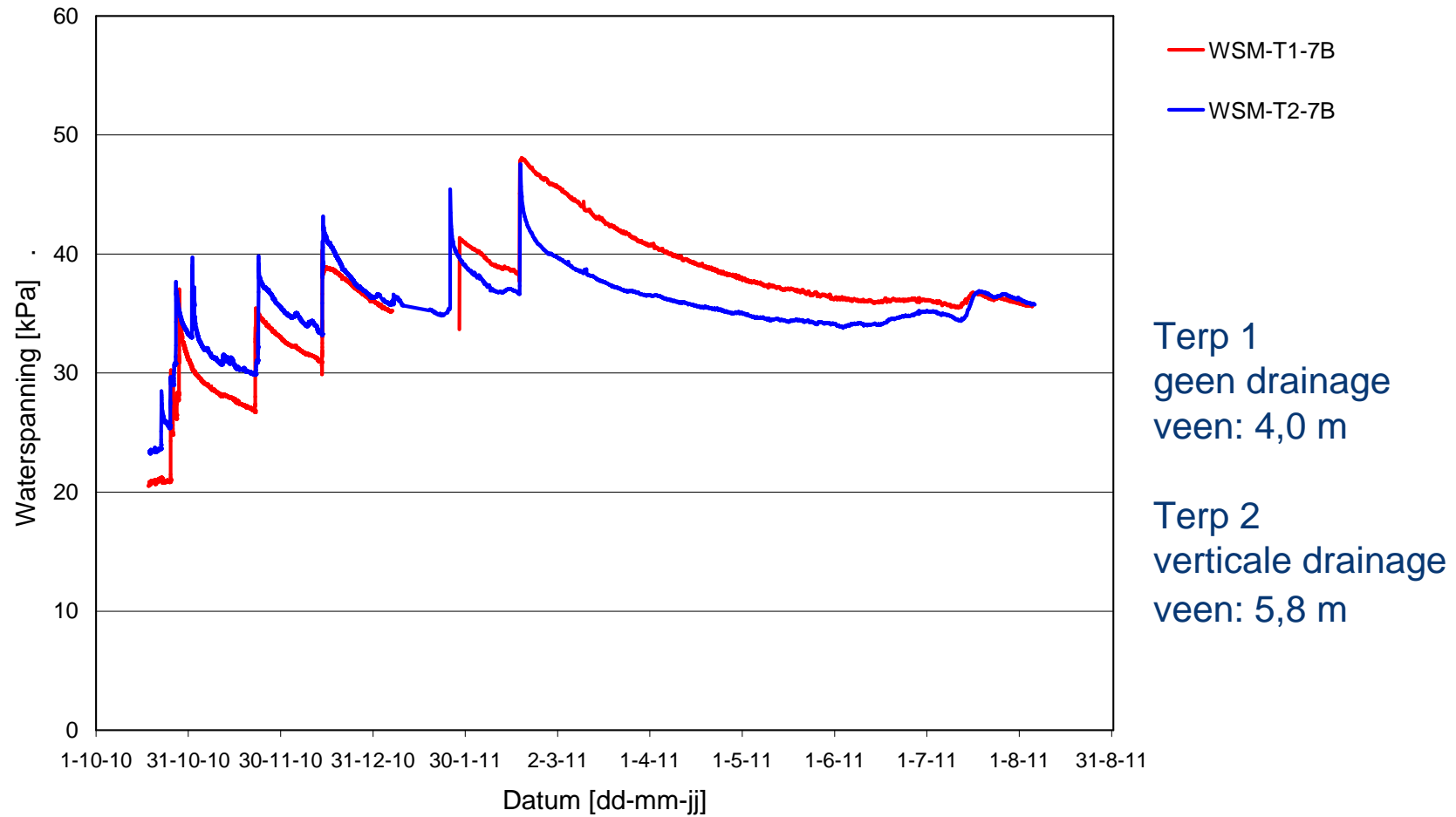


# Waterspanningsmetingen

## Terp 2, met verticale drainage



# Waterspanningsmetingen



# Zettingspredicties

.Voor beide terpen zijn predicties opgesteld met DSettlement en verschillende zettingsmodellen:

- Koppejan
- abc-isotachen
- NEN-Bjerrum-isotachen
- Koppejan met natuurlijke rek

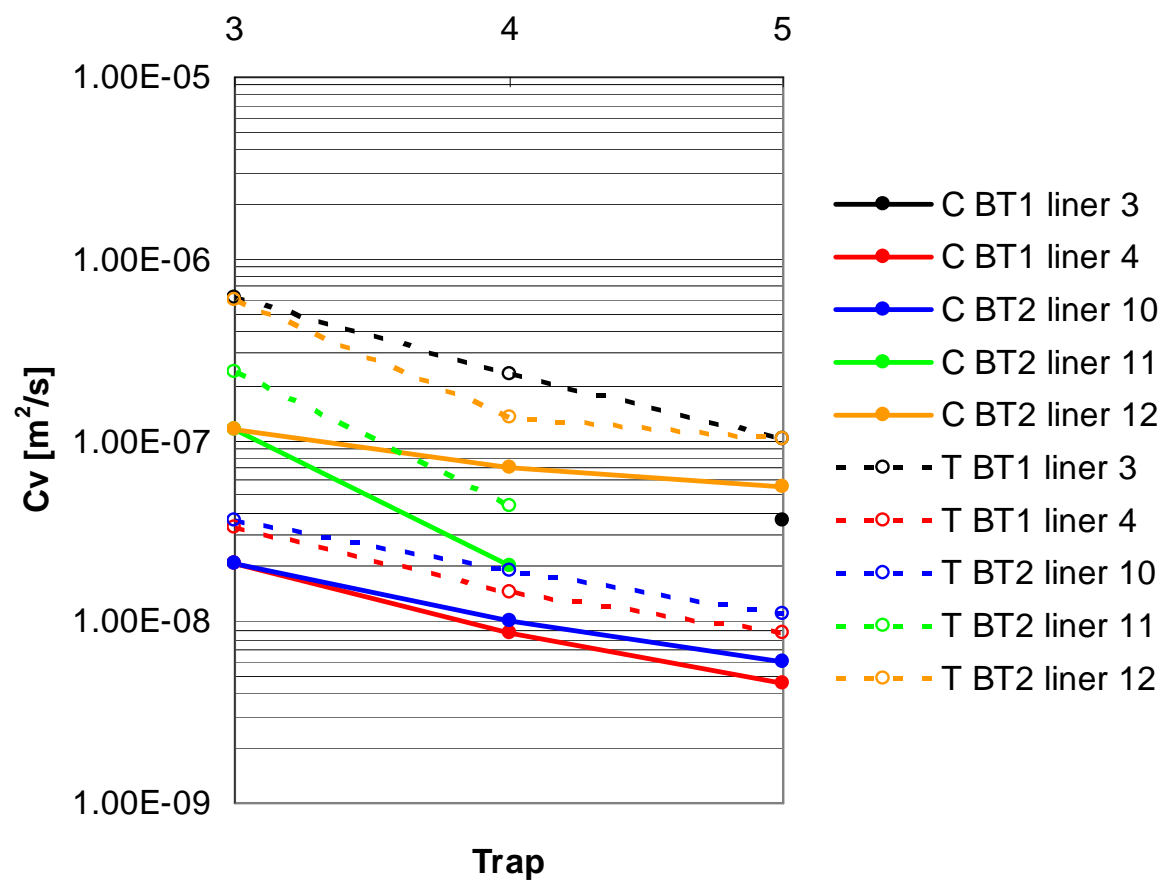
Bij ieder van deze modellen is een drietal consolidatiemodellen gebruikt.

# Consolidatiemodellen

- Terzaghi: 1D, constante waarde voor de consolidatiecoëfficiënt
- Darcy  $c_v$ : berekening grondwaterstroming op basis van doorlatendheid met constante  $c_v$  en variabele  $m_v$

$$k = c_v \cdot \gamma_w \cdot m_v$$

Gekozen  $c_v$ :  $1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$





# Consolidatiemodellen

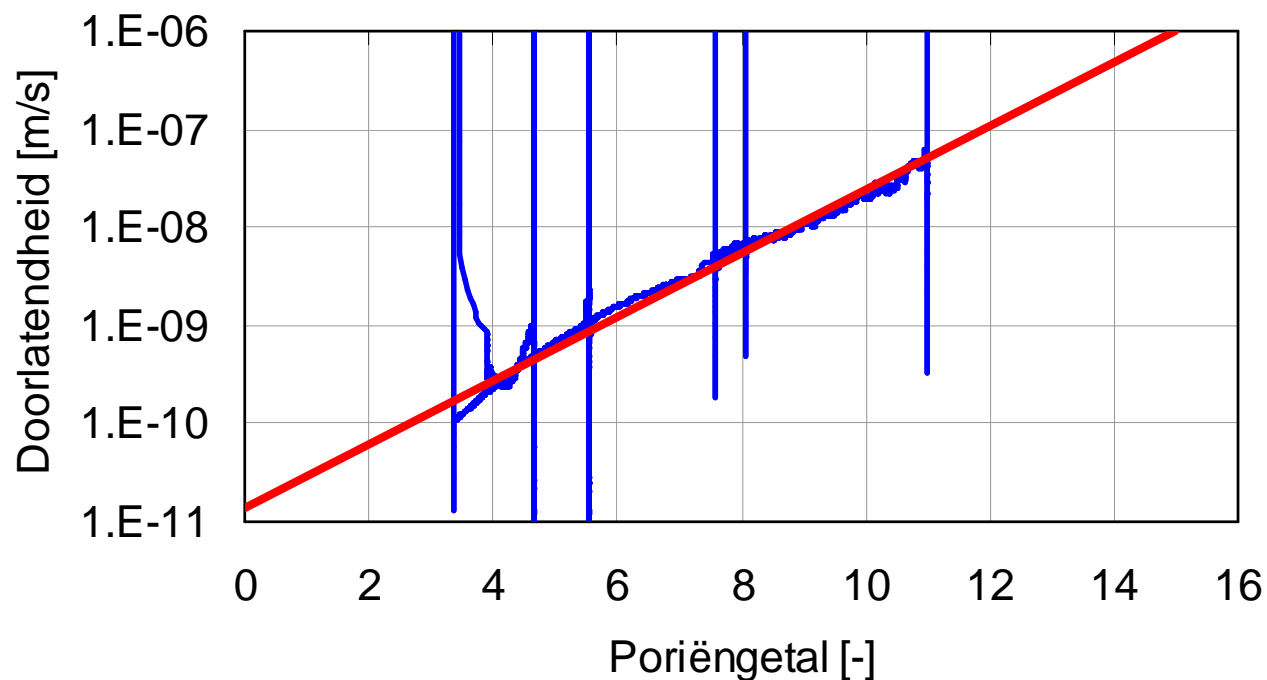
- Darcy k: doorlatendheid is afhankelijk van het poriëngetal (volume poriën / volume korrels). Als de grond wordt samengedrukt, neemt het volume aan poriën af, waardoor de doorlatendheid afneemt.

$$k = k_0 10^{-\frac{1+e_0}{C_k} \varepsilon} = k_0 10^{\frac{e-e_0}{C_k}}$$

$K_0$ -CRS-proeven

$k_0 = 5 \times 10^{-8}$  m/s

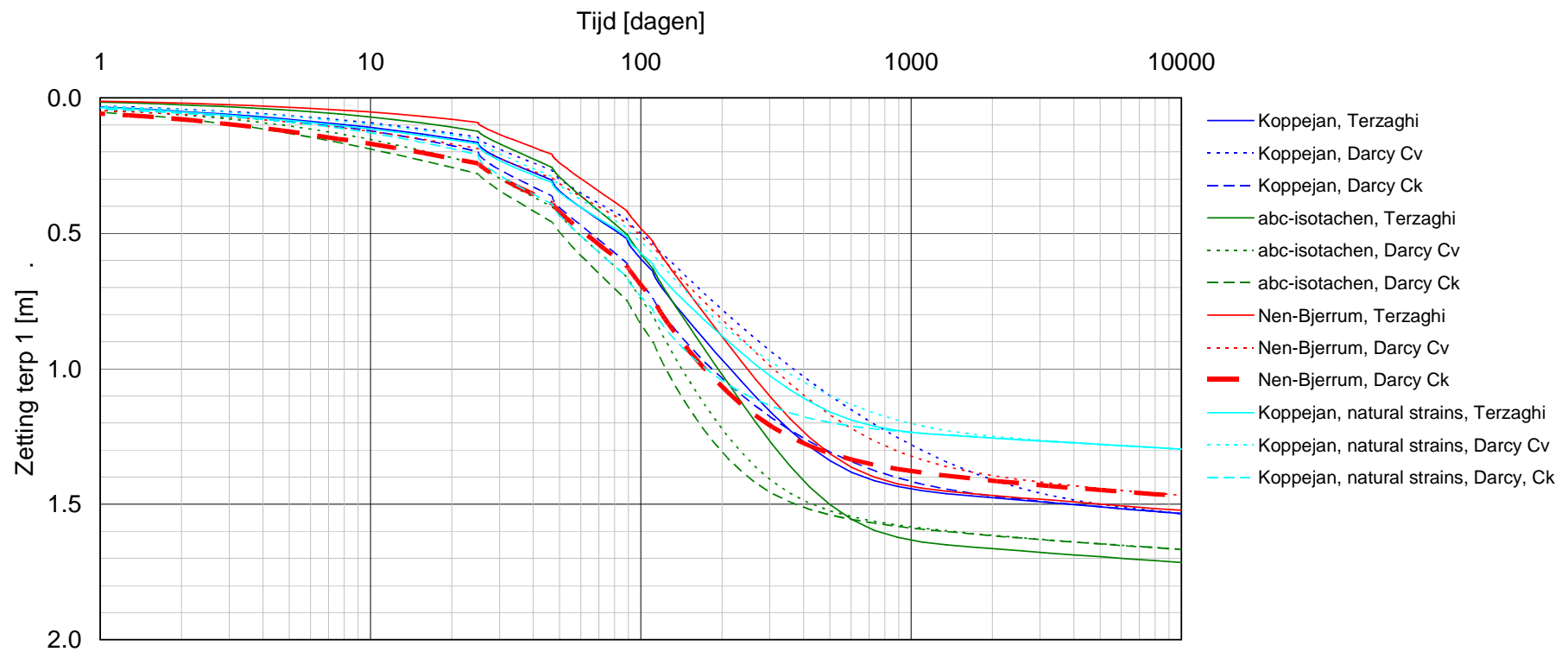
$C_k/(1+e_0) = 0,25$



# Zettingspredictie

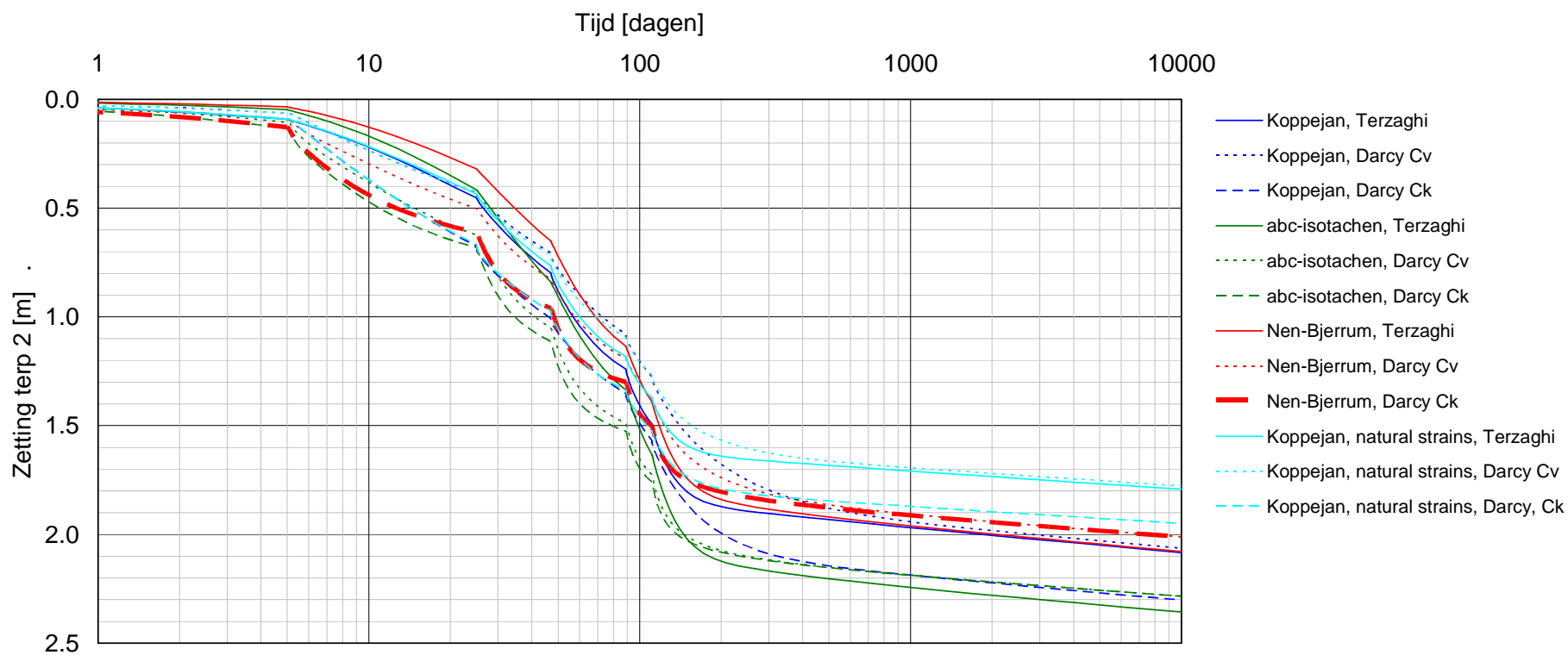


Terp 1, zonder verticale drainage



# Zettingspredictie

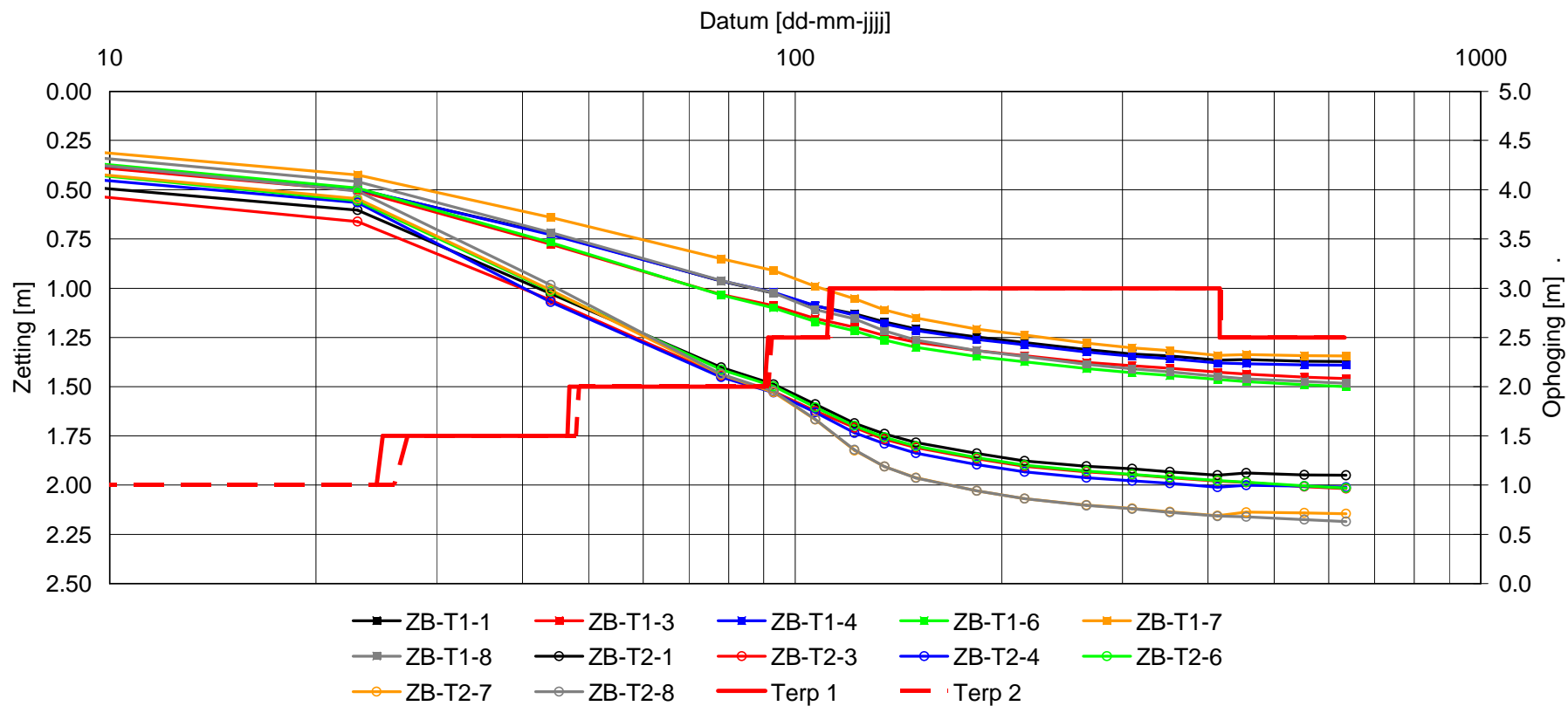
Terp 2, met verticale drainage



# Na 6 maanden

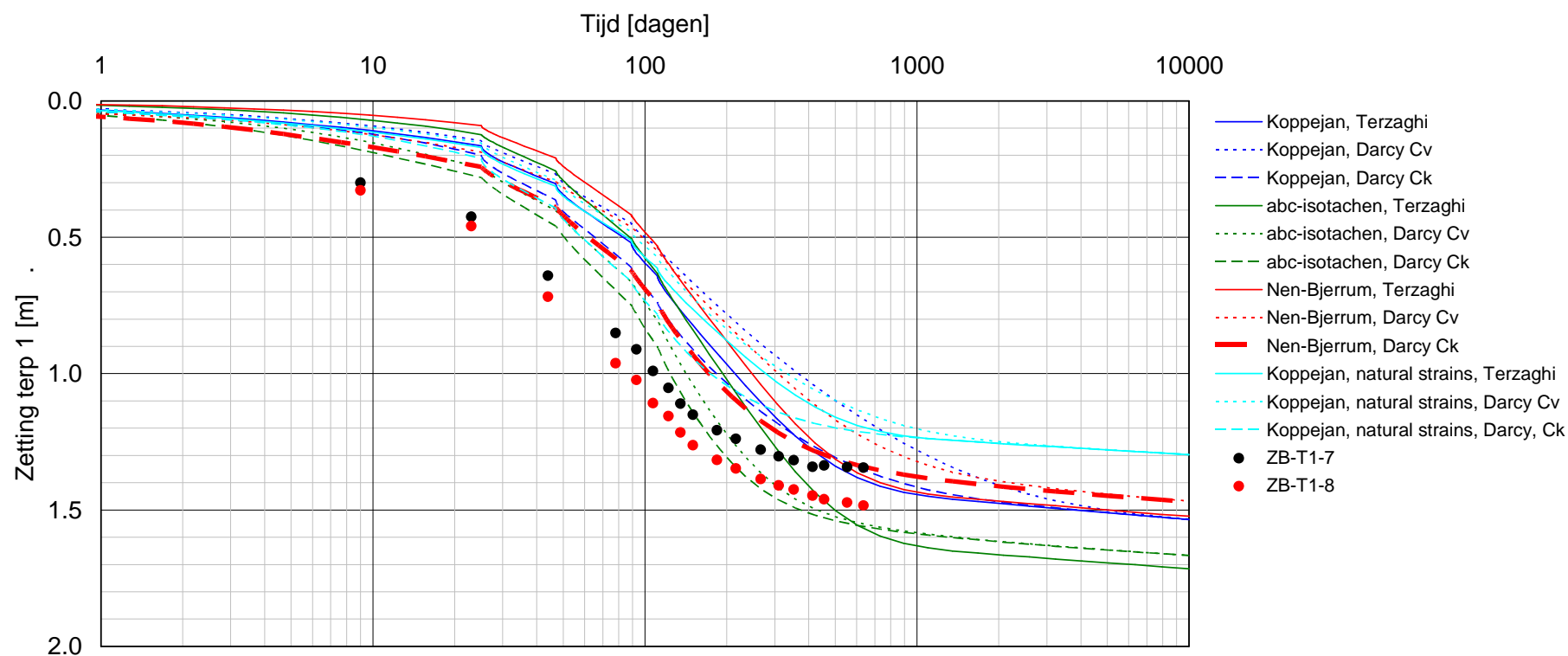


# Verloop zettingsproces



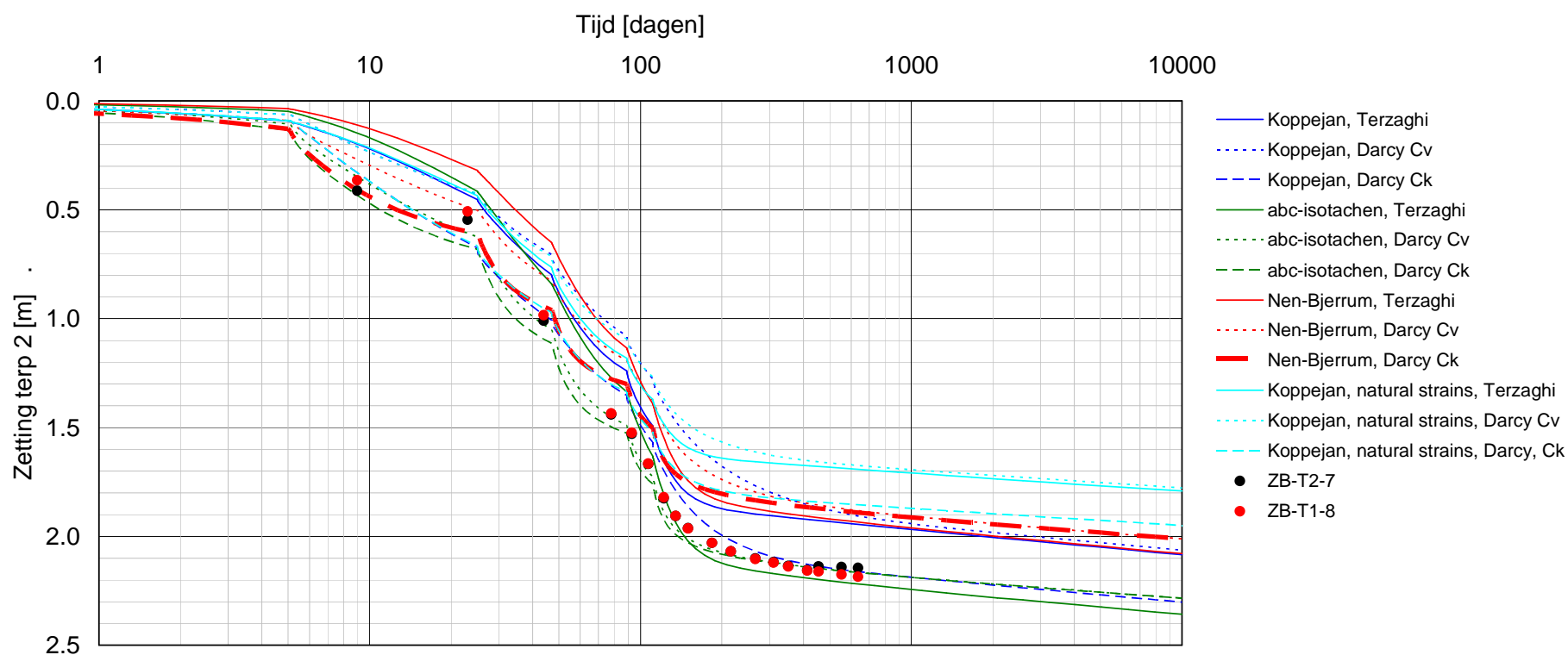
# Zettingspredictie en meting

Terp 1, zonder verticale drainage; 4,0 m veen  
gemiddeld 1,45 m zakking na 21 maanden



# Zettingspredictie en meting

Terp 2, met verticale drainage; 5,8 m veen  
ca. 2,20 m zakking na 21 maanden





# Evaluatie zettingsmodellen

In eerste instantie is getracht met het programma DSettlement en de module “Fit for Settlement plate” de modelparameters zodanig te fitten dat een goede overeenkomst met de metingen is. Gebleken is dat de module niet naar behoren functioneert.

Daarna is een handmatige fit uitgevoerd waarbij parameters zodanig zijn aangepast dat het berekende zettingsverloop overeenkomt met de metingen. De handmatige fit is zodanig uitgevoerd dat aan drie belangrijke eigenschappen van de gemeten zakkingslijn wordt voldaan:

- De absolute waarde van de zetting na 413 dagen (dag van de laatste meting)

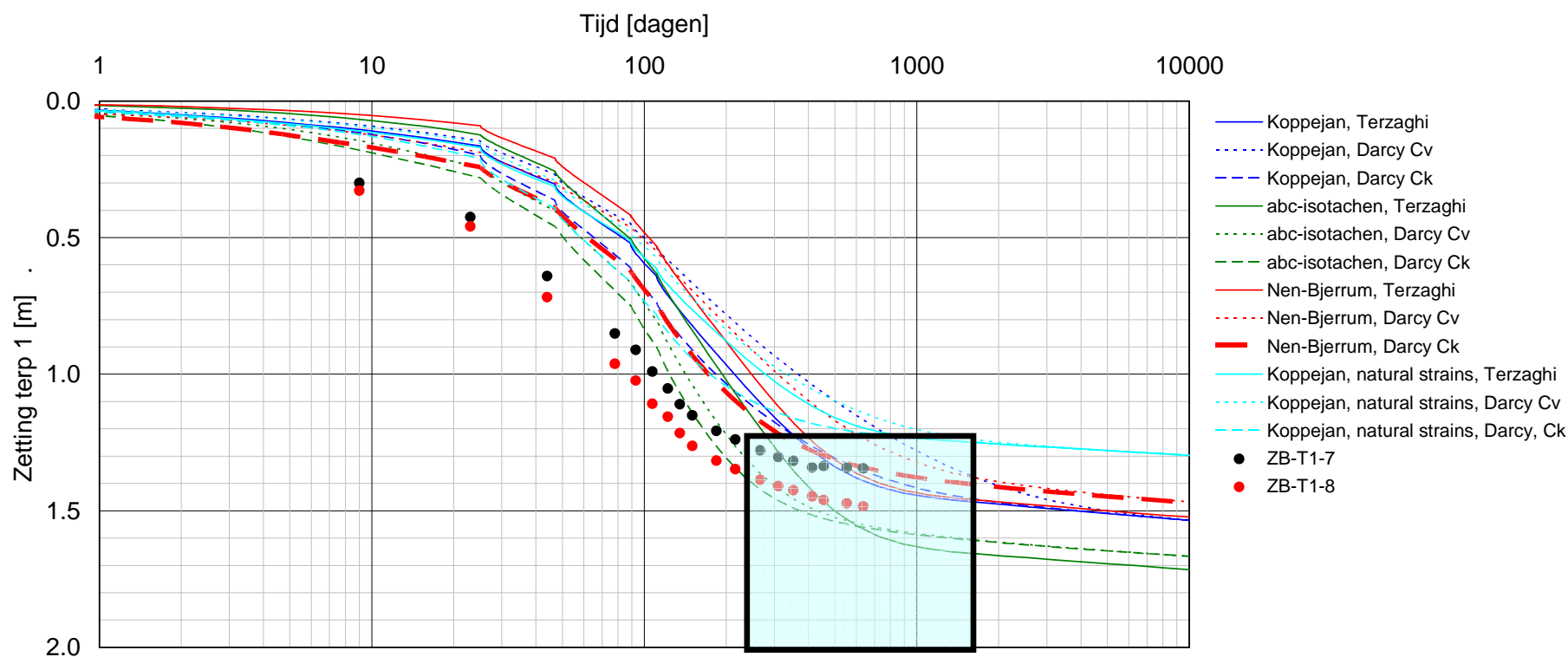
- De vorm van de zettingscurve; hierbij spelen 2 aspecten een rol: de snelheid van zetting bij start ophogen en na de laatste ophoogslag

- De helling van de zetting over de laatste meetperiode.



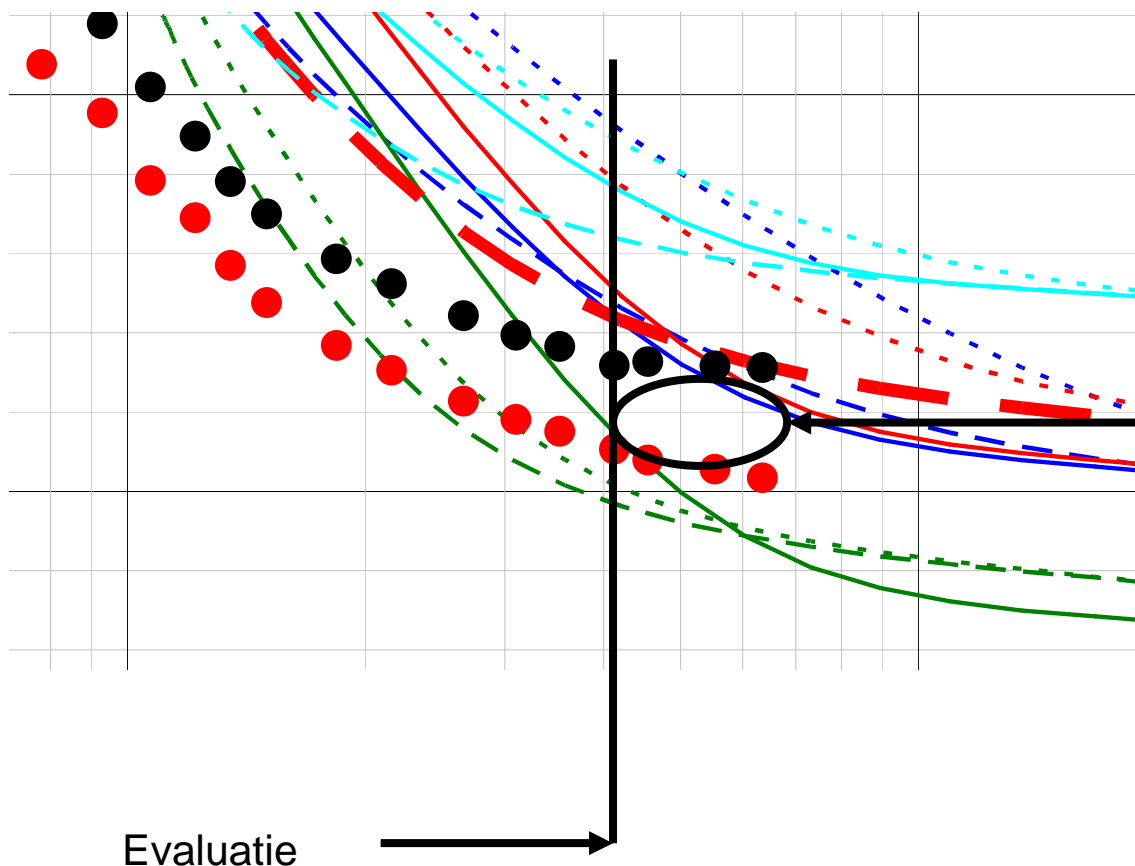
# Evaluatie zettingsmodellen

Terp 1, zonder verticale drainage; gemiddeld 1,45 m zakking na 21 maanden



# Evaluatie zettingsmodellen

Terp 1

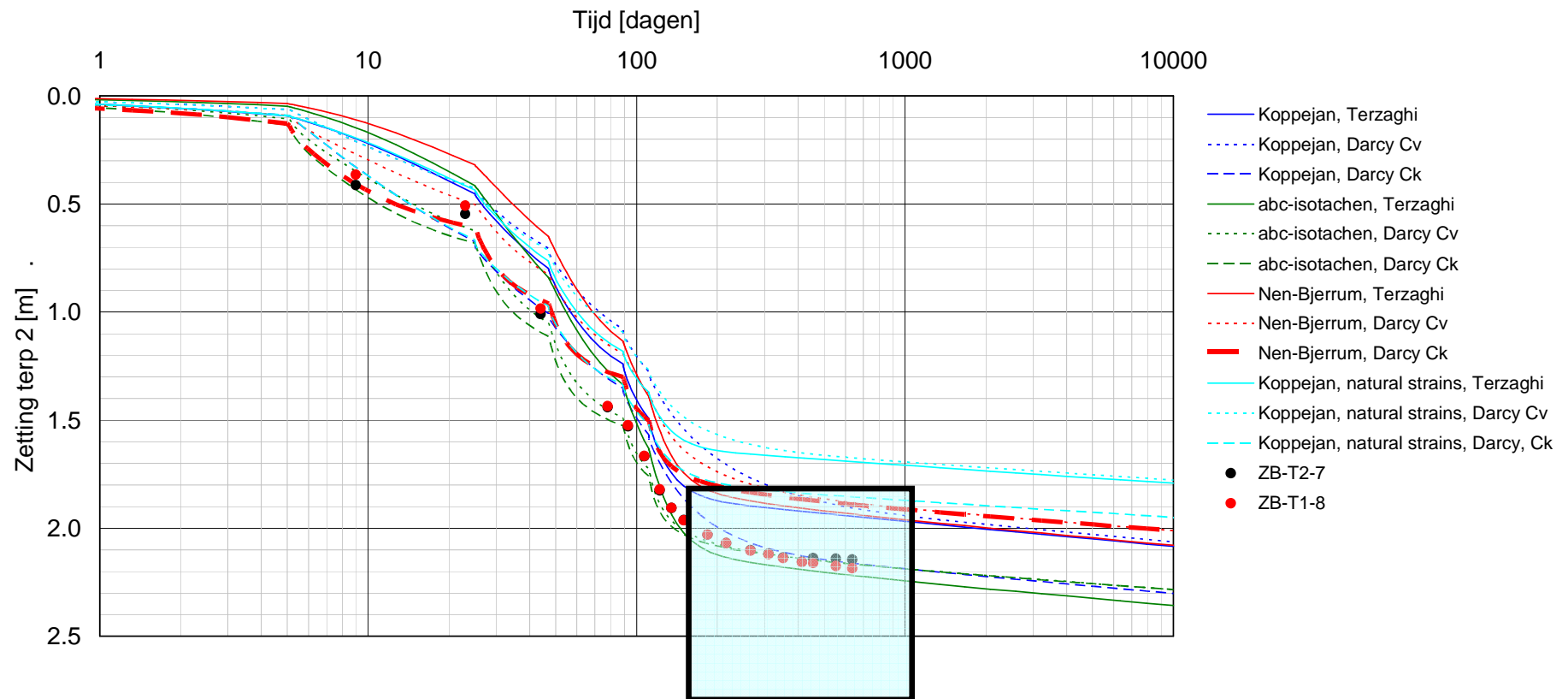


Verwijderen extra overhoogte 0,5 m

# Evaluatie zettingsmodellen



Terp 2, met verticale drainage; ca. 2,20 m zakking na 21 maanden

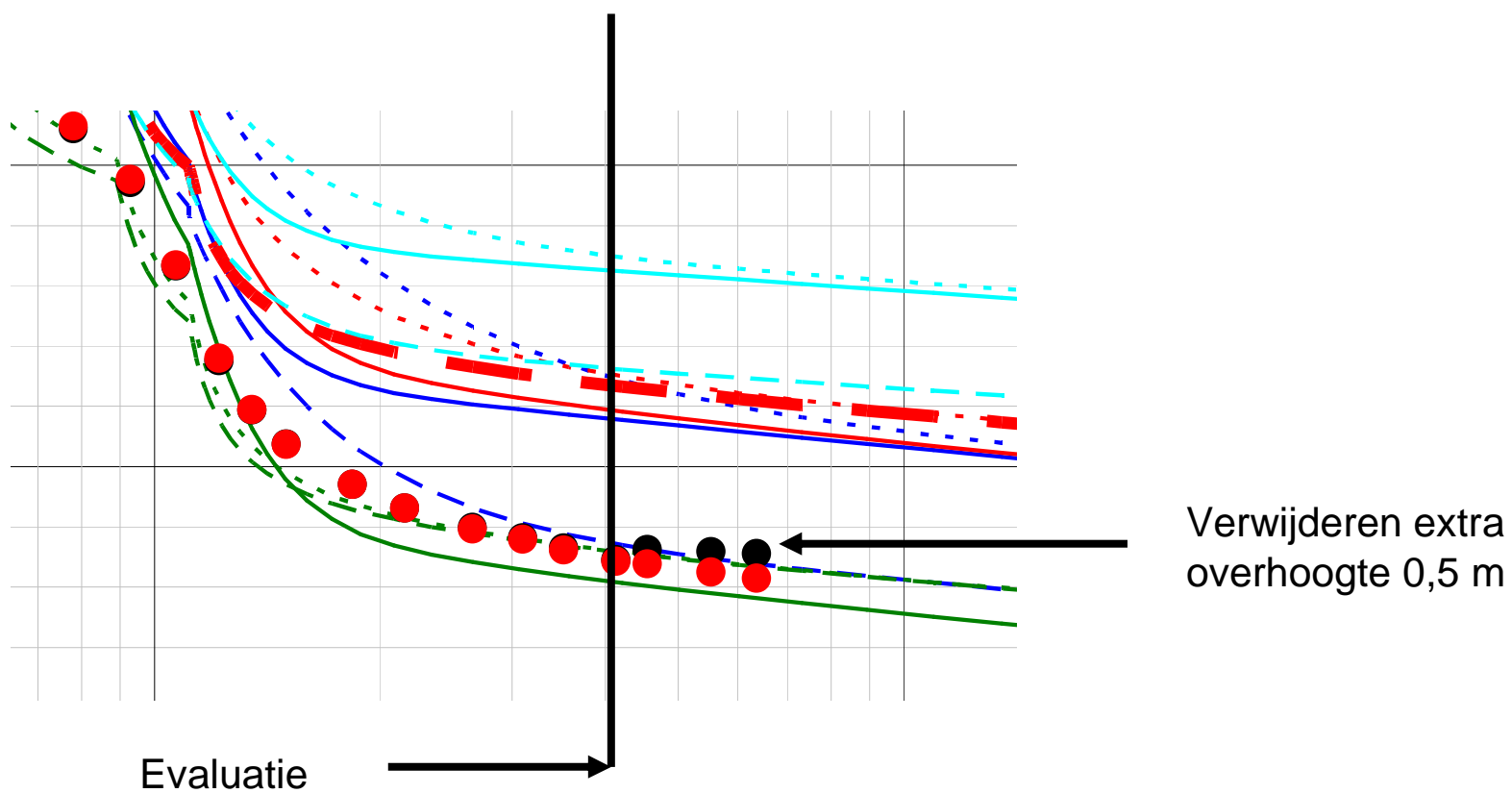


# Evaluatie zettingsmodellen

Terp 2

rode en zwarte punten liggen over elkaar (tot  $t = 413$  dagen)

consolidatie lijkt na 300 dagen volledig te zijn – extrapolatie kruip (dit is geen rechte lijn)



# Evaluatie zettingsmodellen



Parameter	Eenheid	Klei, zwak humeus	Zand	Veen	Veen
		Predictie en postdictie	Predictie en postdictie	Postdictie Zonder verticale drainage	Postdictie Met verticale drainage
$\gamma_{nat}$	kN/m <sup>3</sup>	14	16	10,3	10,3
$\gamma_{droog}$	kN/m <sup>3</sup>	14	20	n.v.t.	n.v.t.
$C_p$	-	28	$\infty$	10	10
$C'_p$	-	7	$\infty$	6	6 / 1,15 = 5,2
$C_s$	-	320	$\infty$	102	102
$C'_s$	-	80	$\infty$	102 / 1,7 = 60	102 / 1,7 = 60
RR	-	0,10	1x10 <sup>-6</sup>	0,061	0,061
CR	-	0,31	2x10 <sup>-6</sup>	0,493 x 0,9 = 0,444	0,493 x 1,1 = 0,542
$C_\alpha$	-	0,014	1x10 <sup>-6</sup>	0,020 x 1,7 = 0,034	0,020 x 1,7 = 0,034
a	-	0,013	1x10 <sup>-6</sup>	0,04	0,04
b	-	0,16	2x10 <sup>-6</sup>	0,327 x 0,7 = 0,229	0,327 x 0,85 = 0,278
c	-	0,008	1x10 <sup>-6</sup>	0,014 x 1,7 = 0,0238	0,014 x 1,7 = 0,0238
POP	kPa	7	7	7	7
$c_v$	m <sup>2</sup> /s	7,9 x 10 <sup>-8</sup>	-	1,0 x 10 <sup>-7</sup> x 3 = 3,0 x 10 <sup>-7</sup>	1,0 x 10 <sup>-7</sup> x 2 = 2,0 x 10 <sup>-7</sup>
$c_H/c_v$	-	1	1	n.v.t.	1
$k_D$	m/s	-	-	5 x 10 <sup>-8</sup> x 8 = 4 x 10 <sup>-7</sup>	5 x 10 <sup>-8</sup>
$C_k/(1+e_0)$	-	-	-	0,25 / 2,63 = 0,095	0,25

Terp 1, zonder drainage:  
 $c_v$  is niet constant! – baseren op belasting bij laatste ophoogslag  
 $c_v \times 3$   
 poriëngetalafhankelijke doorlatendheid werkt het best  
 waarden sterk afwijkend van predictie

$$k = k_0 10^{\frac{1+e_0}{C_k} \varepsilon} = k_0 10^{\frac{e-e_0}{C_k}}$$

Terp 2, met drains:  
 $c_v$  is constant!  
 $c_v \times 2$   
 poriëngetalafhankelijke doorlatendheid werkt ook met predictiewaarde

kruihfactor x 1,7 (voorlopig)

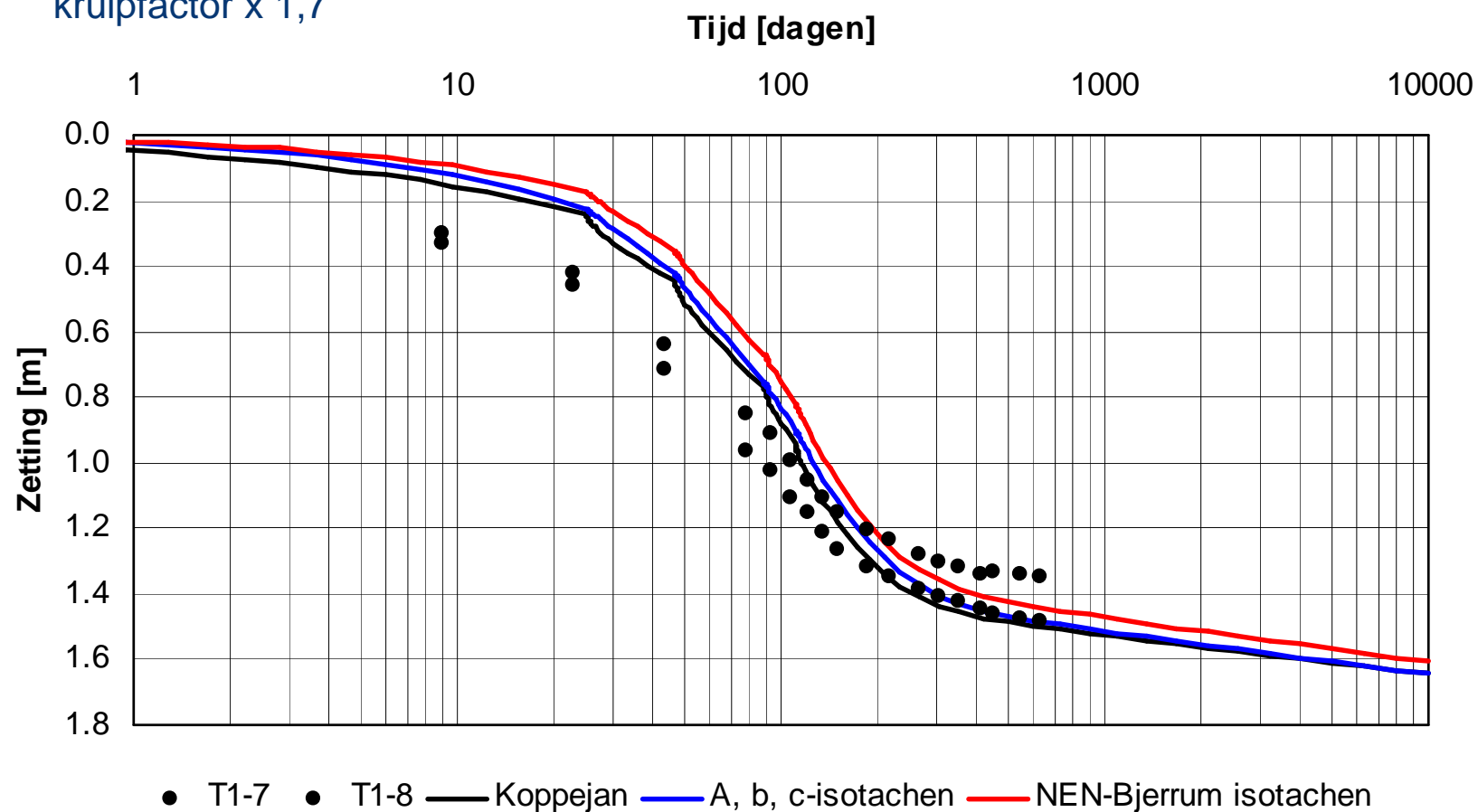
# Evaluatie zettingsmodellen en postdicties

Terp 1

Terzaghi met constante  $c_v$

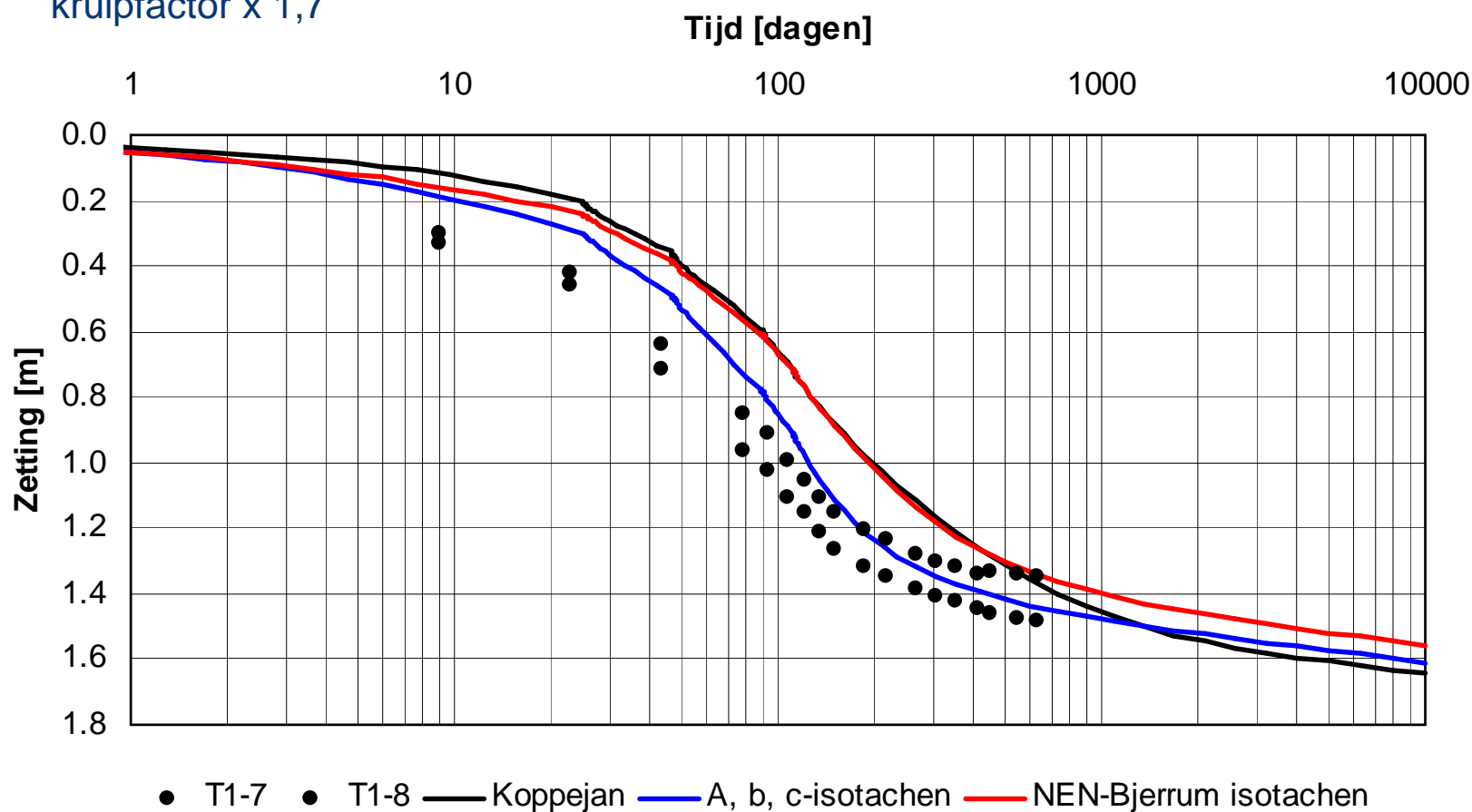
$c_v$  is niet constant! – keuze  $c_v$  bij spanningsniveau laatste ophoogslag

kruipfactor x 1,7



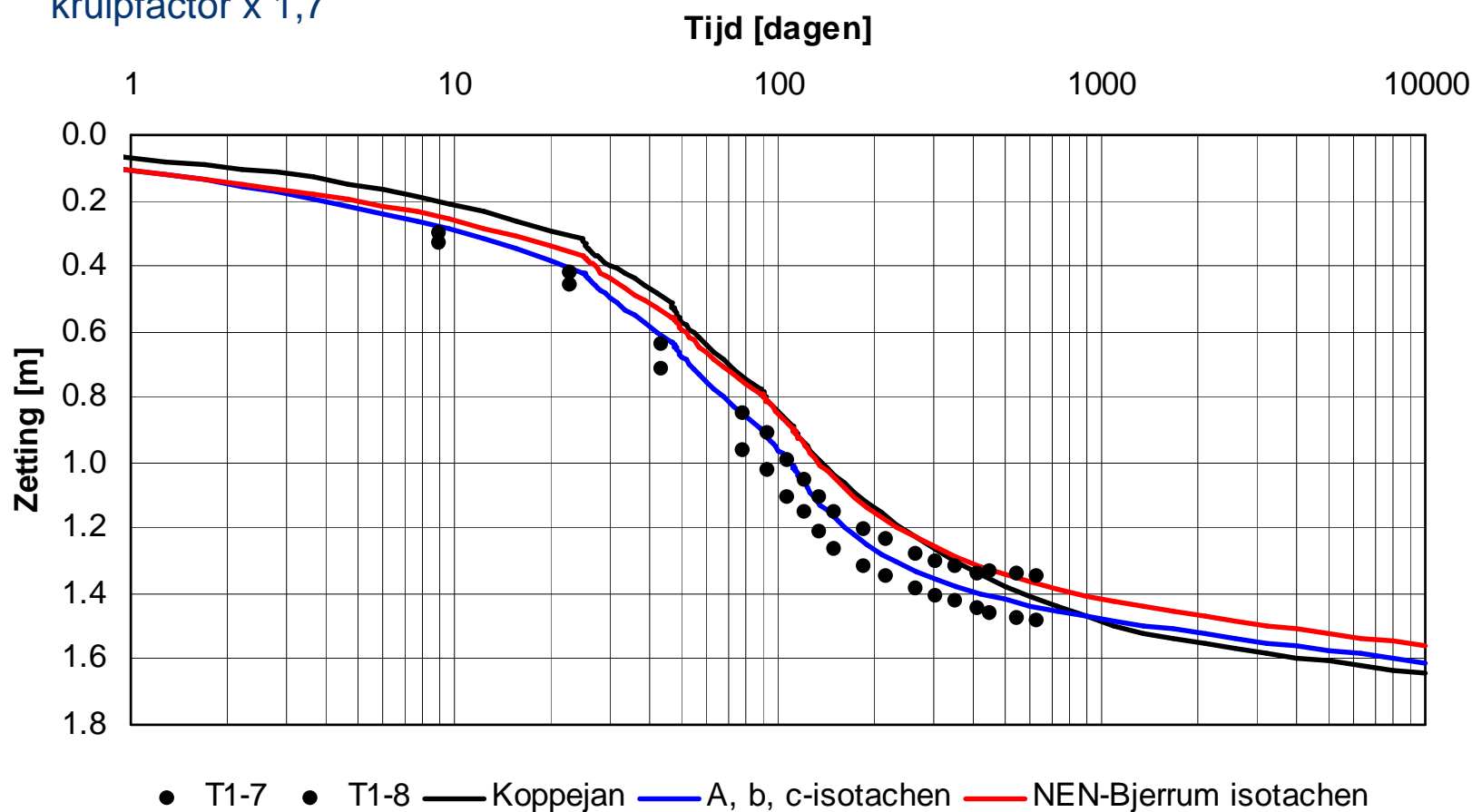
# Evaluatie zettingsmodellen en postdicties

Terp 1  
 Darcy met constante  $c_v$   
 $c_v$  is niet constant!  
 kruipfactor x 1,7



# Evaluatie zettingsmodellen en postdicties

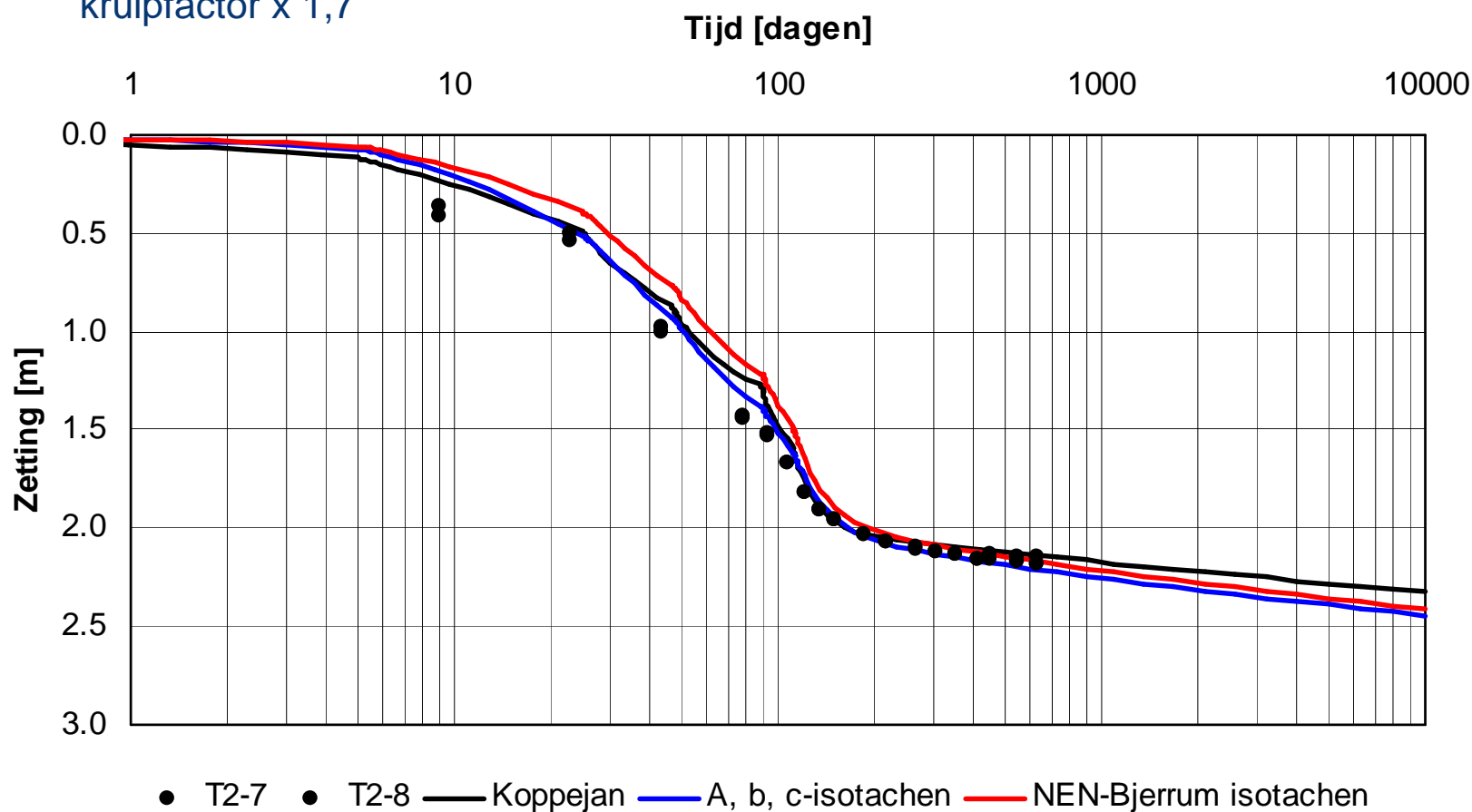
Terp 1  
 Darcy met poriëngetalafhankelijke doorlatendheid  
 model beschrijft consolidatie goed  
 kruipfactor x 1,7





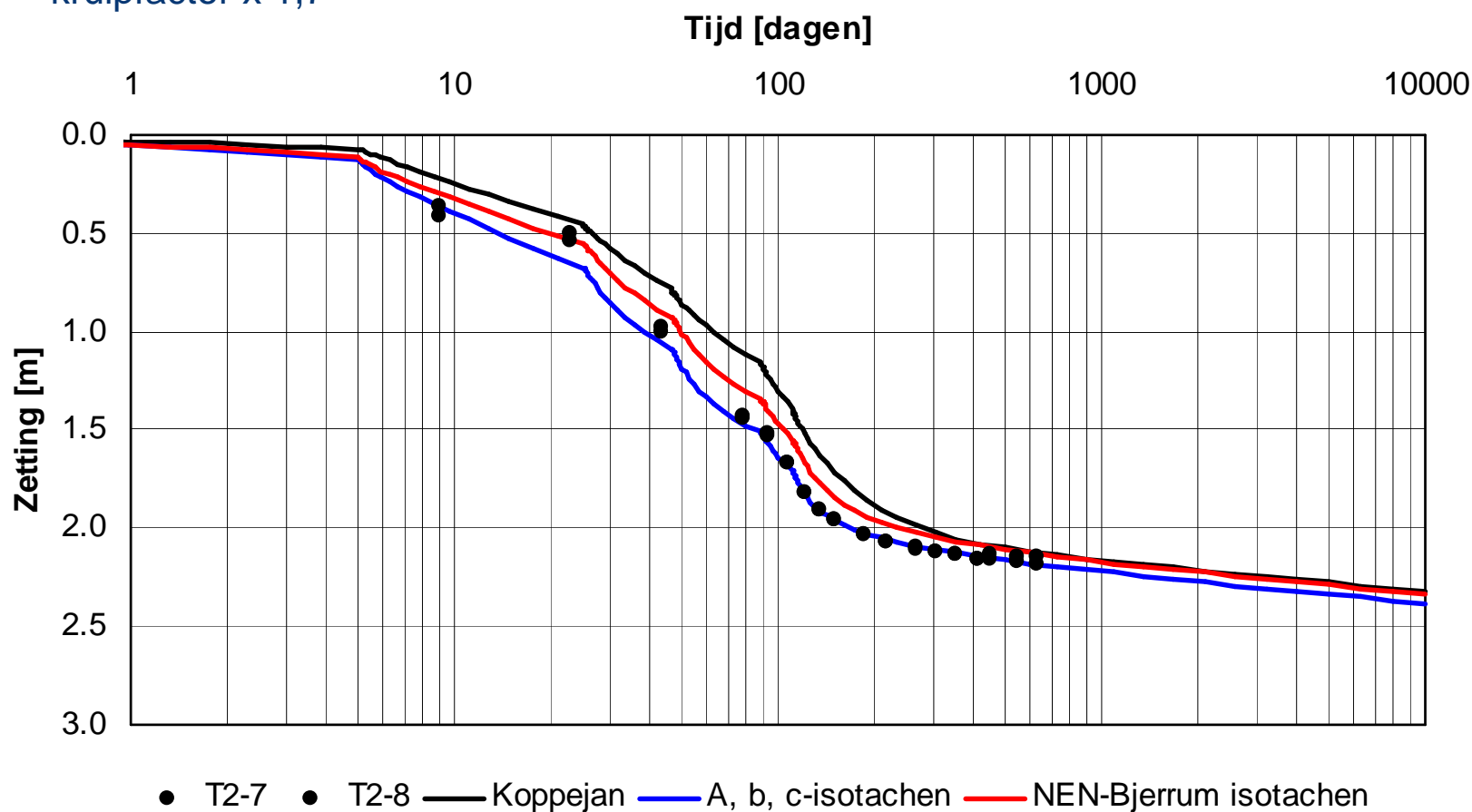
# Evaluatie zettingsmodellen en postdicties

Terp 2  
 Terzaghi met constante  $c_v$   
 $c_v$  is wel constant!  
 kruipfactor x 1,7



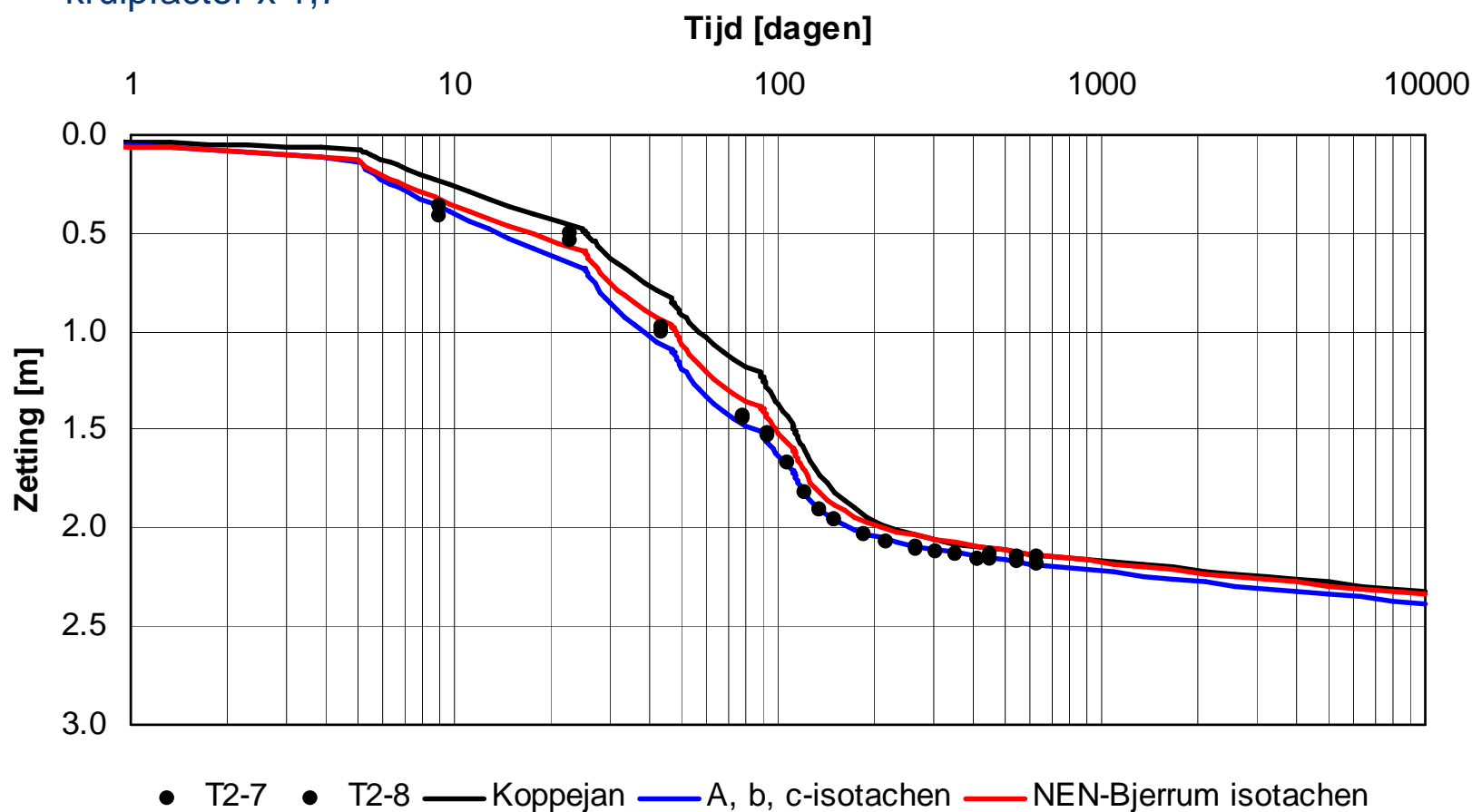
# Evaluatie zettingsmodellen en postdicties

Terp 2  
 Darcy met constante  $c_v$   
 $c_v$  is wel constant!  
 kruipfactor x 1,7

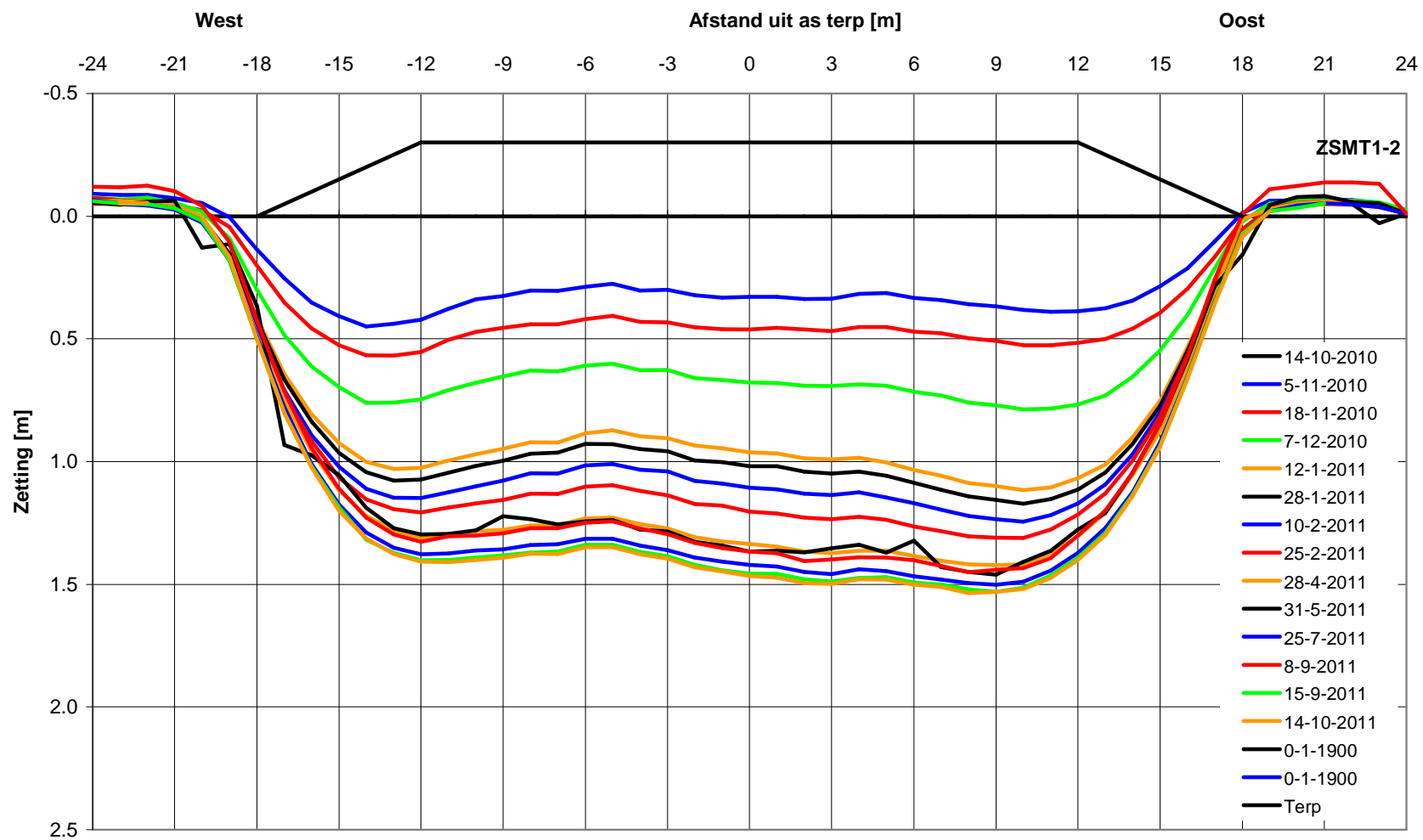


# Evaluatie zettingsmodellen en postdicties

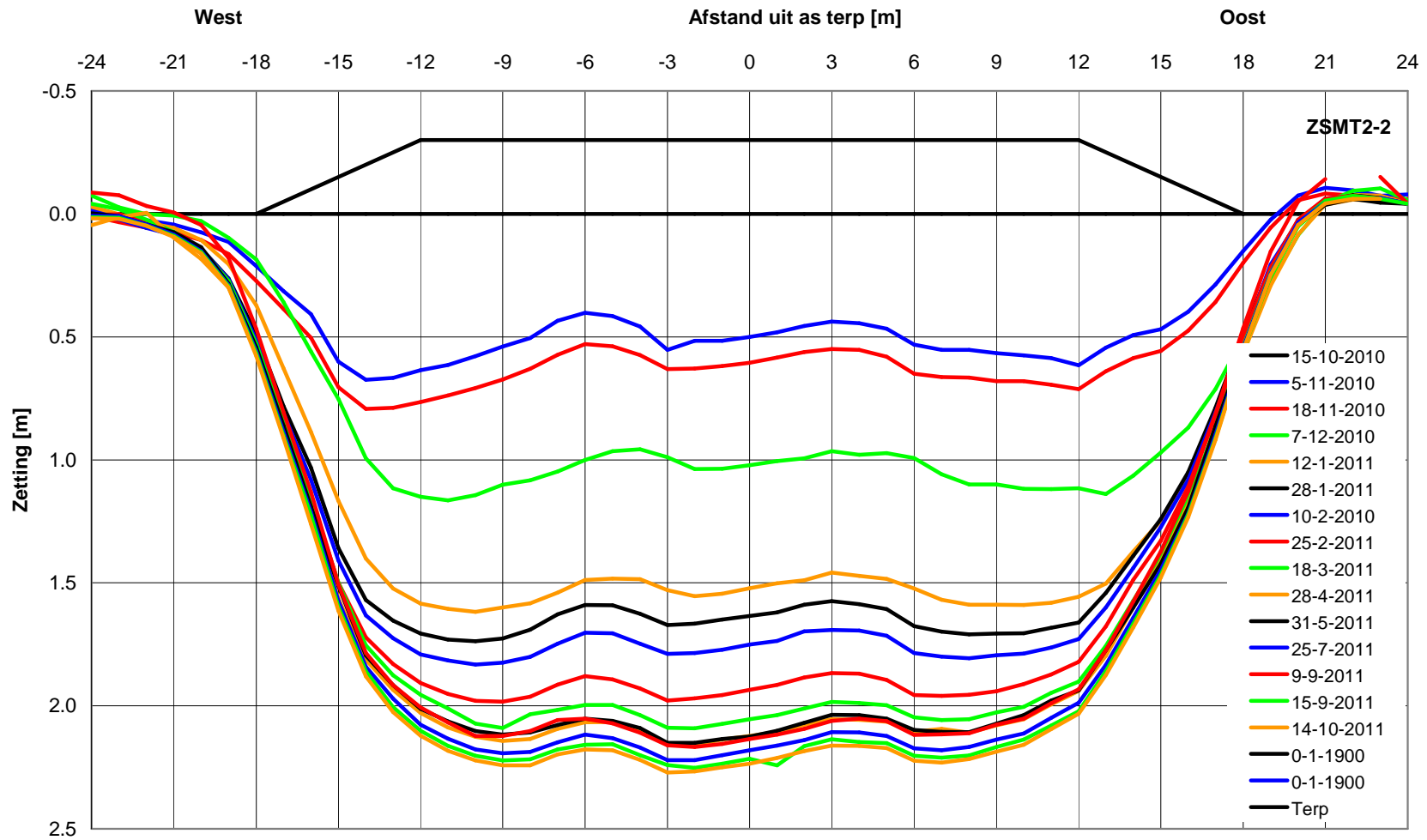
Terp 2  
 Darcy met poriëngetalafhankelijke doorlatendheid  
 model werkt ook hier goed  
 kruipfactor x 1,7



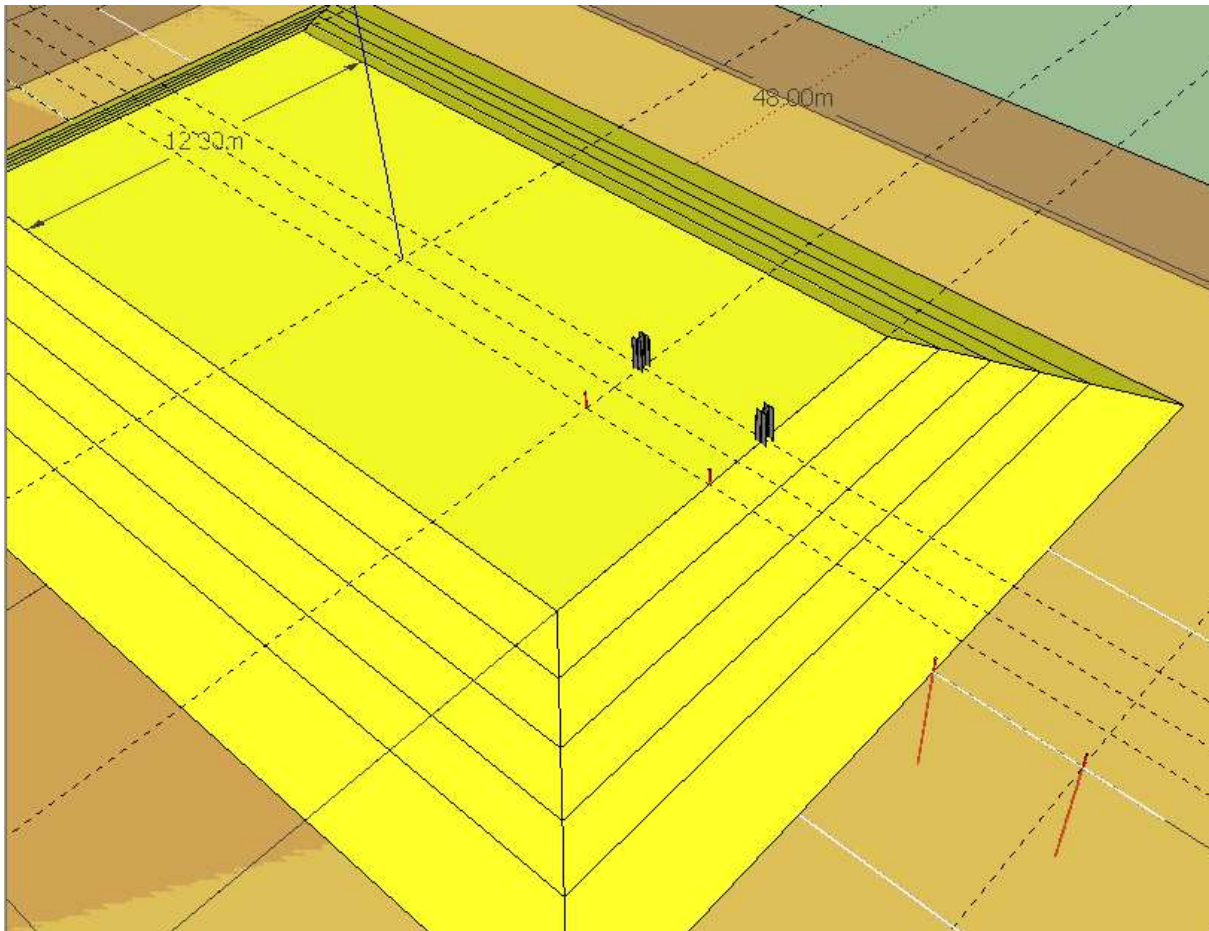
# Zettingsmetingen



# Zettingsmetingen

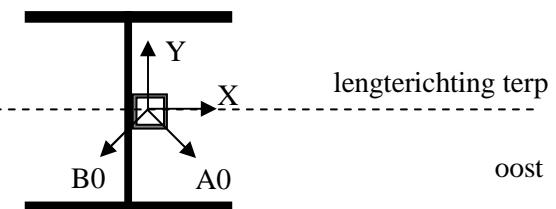


# Horizontale grondvervorming en paalgedrag



Beide terpen:  
4 hellingmeetbuizen  
2 stalen palen HEA300  
(prefab vk 260 mm)

slimme hellingmeting –  
bepaling buigend moment



# Horizontale grondvervorming en paalgedrag



CUR 228 “Door grond horizontaal belaste palen”  
Veldproef - langetermijnmeting

Horizontale grondvervorming wordt bepaald door:

- dikte slappe lagen
- stijfheid van de grond
- fasering van de ophoging – relatie met stabiliteit

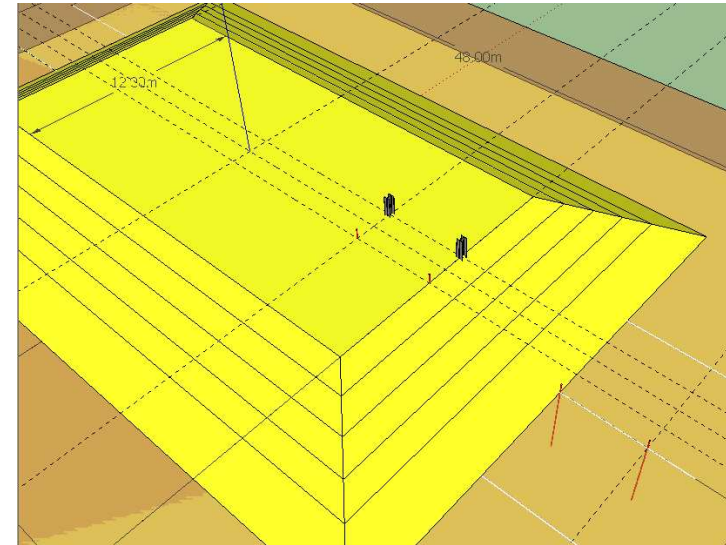
Paal-grond-interactie

Vragen m.b.t.

- schelpwerking
- invloed kruip
- invloed consolidatie lokaal rondom de paal

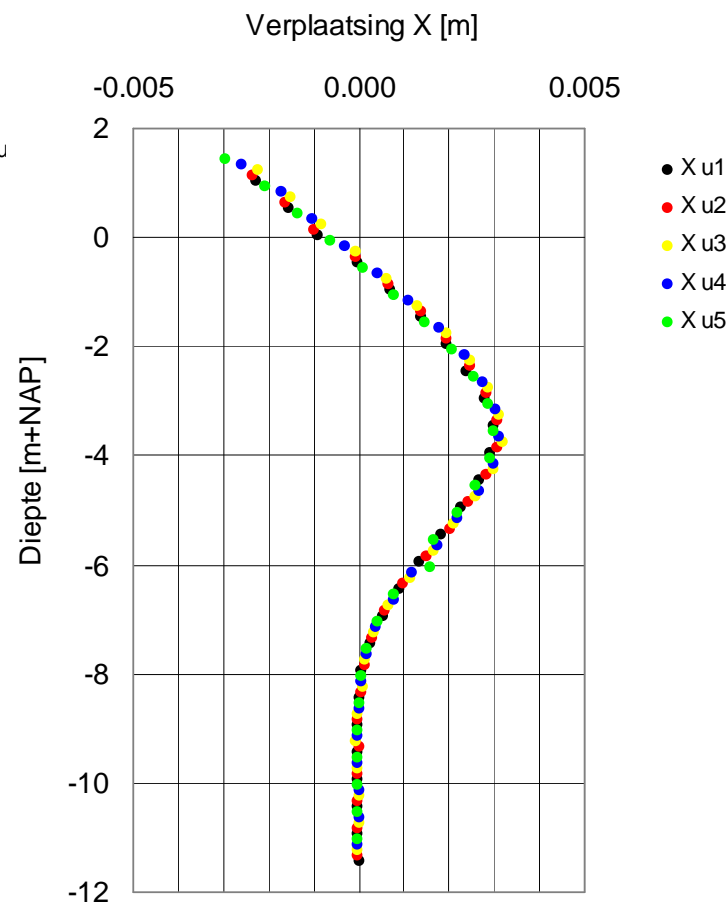
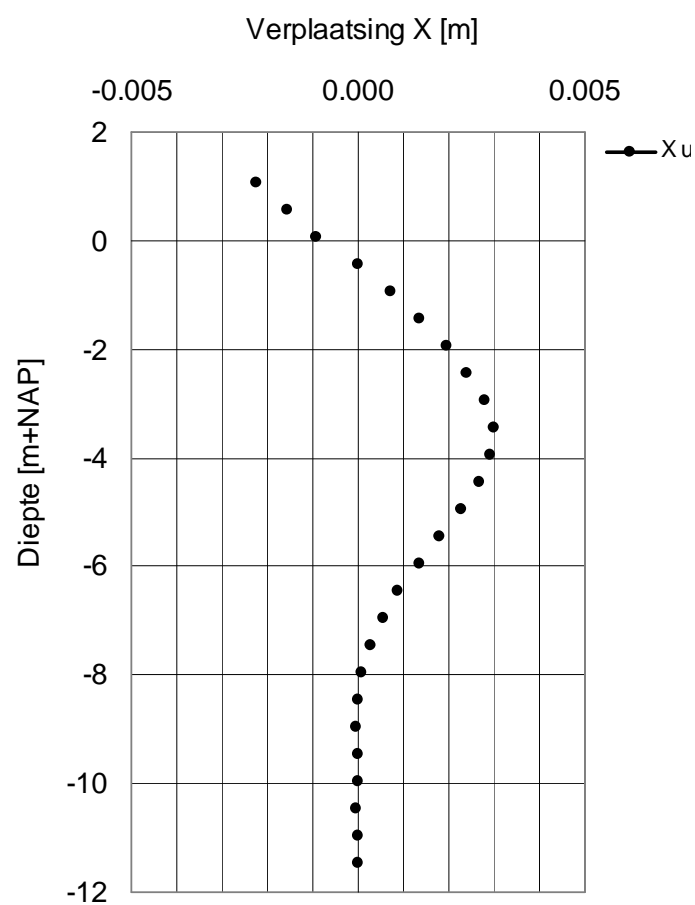
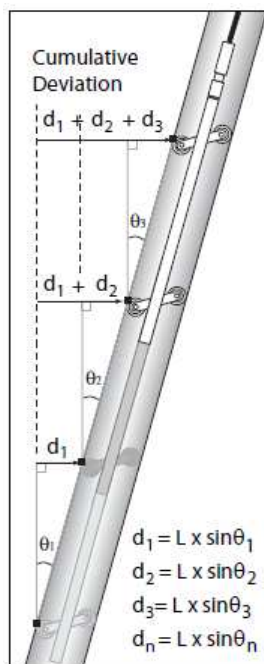
Afstudeeropdrachten Bloemendalerpolder van:

- Klaas Siderius
- Leon Schadee (bijdrage aan presentatie)



# Hellingmeting – Buigend moment

meetinterval instrument is 0,50 m  
meetinterval verkleind naar meting per 0,10 m



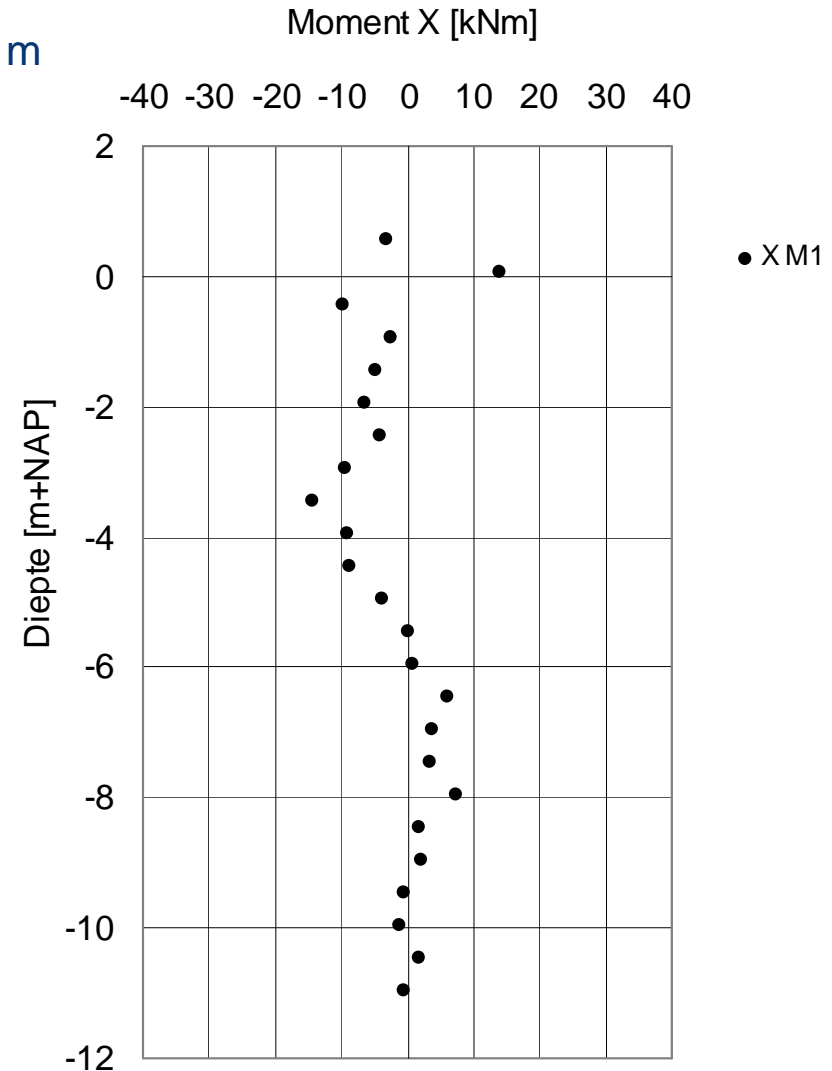


# Hellingmeting – Buigend moment

meetinterval instrument is 0,50 m  
meetinterval verkleind naar meting per 0,10 m

$$M = -EI \frac{d^2 u}{dx^2}$$

$$M = -EI \frac{d\phi}{dx}$$

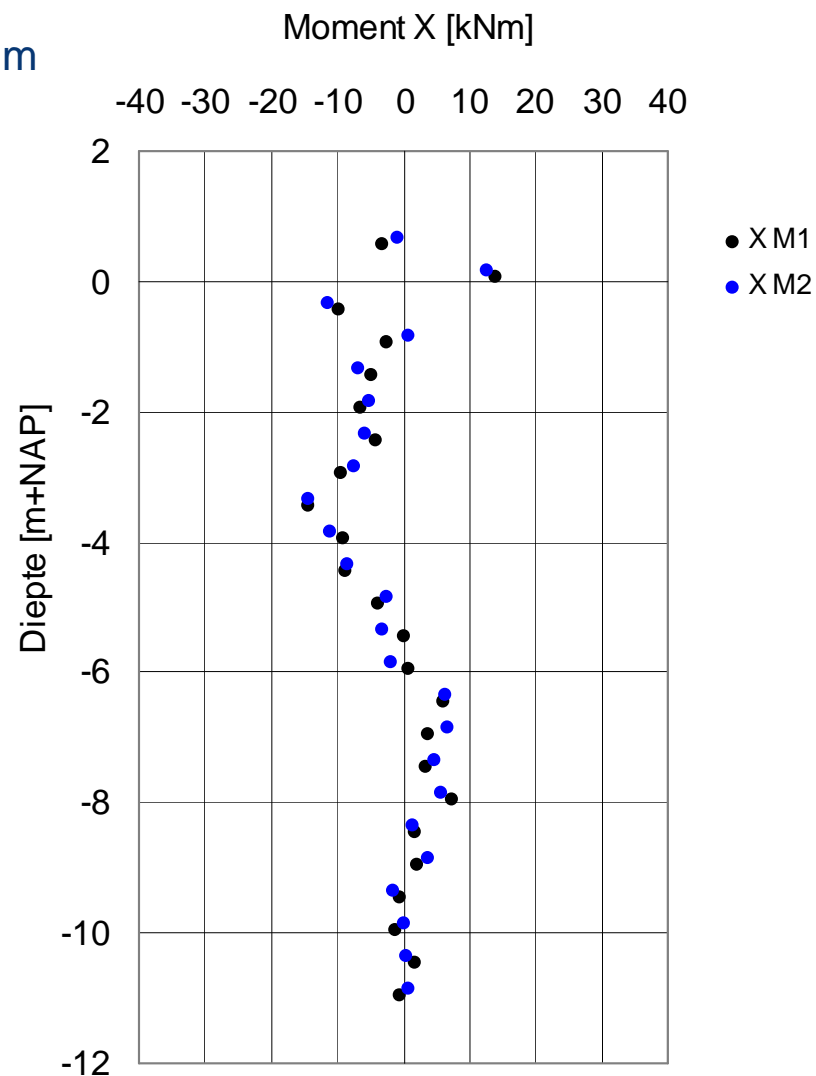


# Hellingmeting – Buigend moment

meetinterval instrument is 0,50 m  
meetinterval verkleind naar meting per 0,10 m

$$M = -EI \frac{d^2 u}{dx^2}$$

$$M = -EI \frac{d\phi}{dx}$$

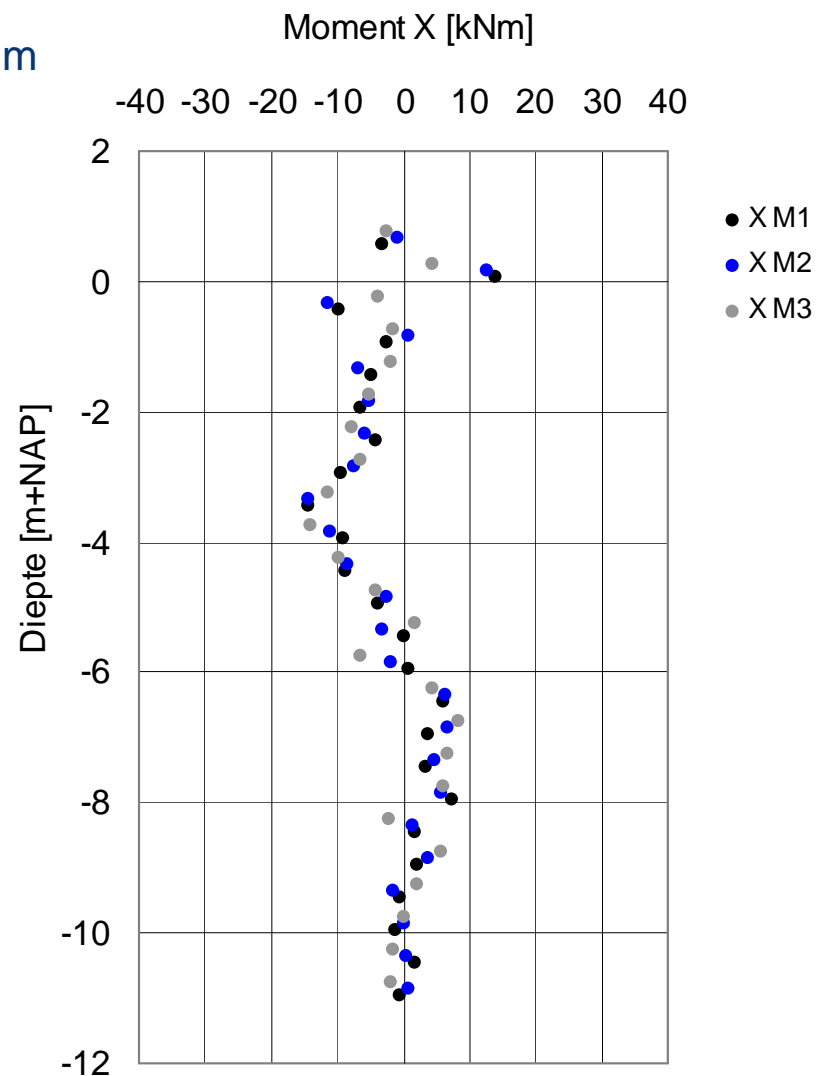


# Hellingmeting – Buigend moment

meetinterval instrument is 0,50 m  
meetinterval verkleind naar meting per 0,10 m

$$M = -EI \frac{d^2 u}{dx^2}$$

$$M = -EI \frac{d\phi}{dx}$$

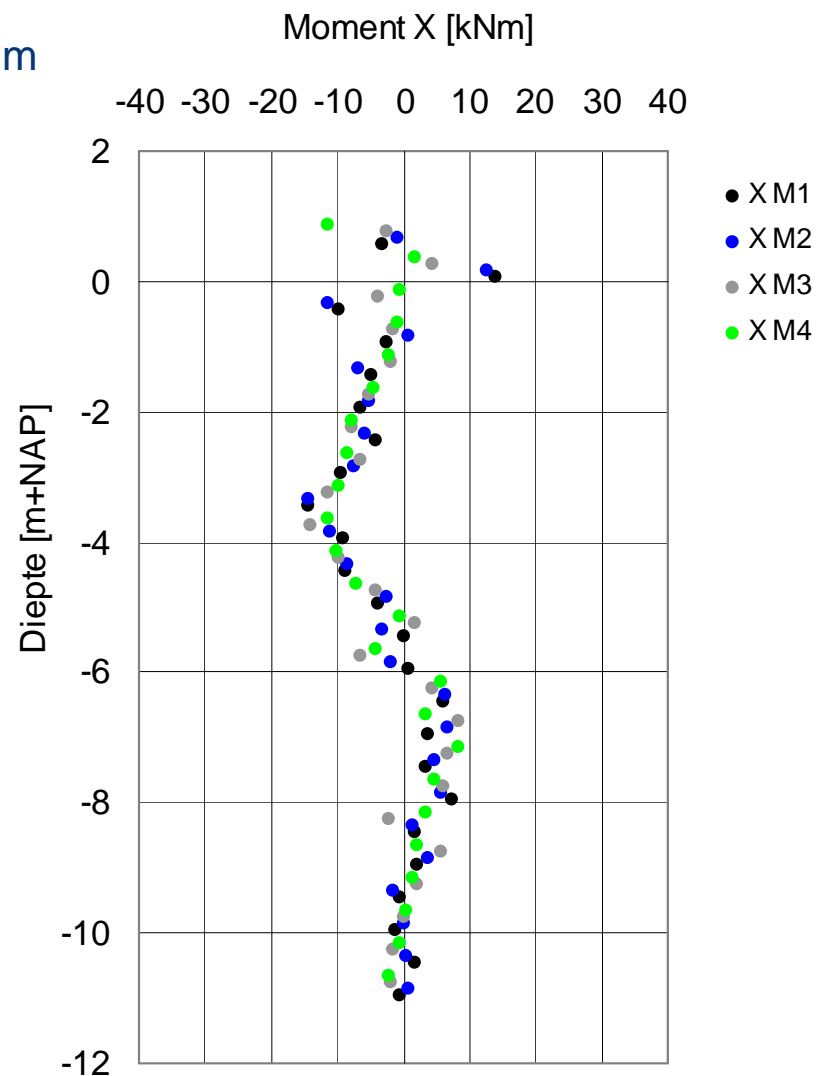


# Hellingmeting – Buigend moment

meetinterval instrument is 0,50 m  
meetinterval verkleind naar meting per 0,10 m

$$M = -EI \frac{d^2 u}{dx^2}$$

$$M = -EI \frac{d\phi}{dx}$$

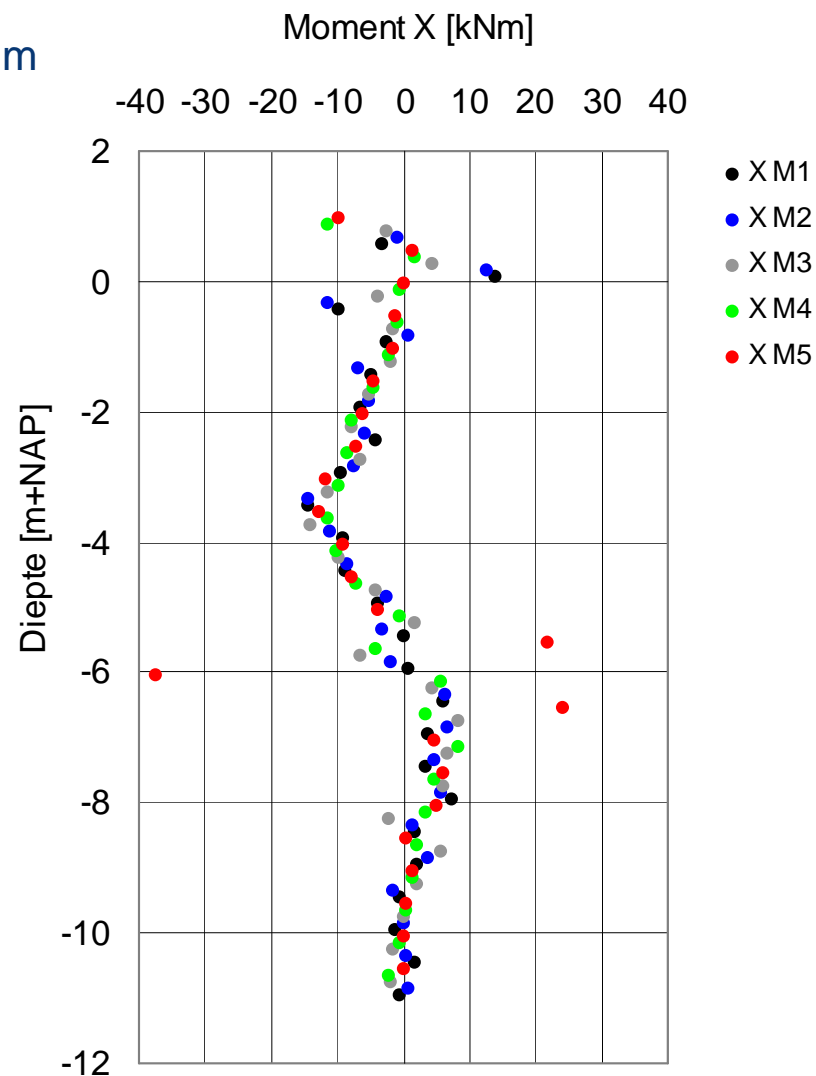


# Hellingmeting – Buigend moment

meetinterval instrument is 0,50 m  
meetinterval verkleind naar meting per 0,10 m

$$M = -EI \frac{d^2 u}{dx^2}$$

$$M = -EI \frac{d\phi}{dx}$$

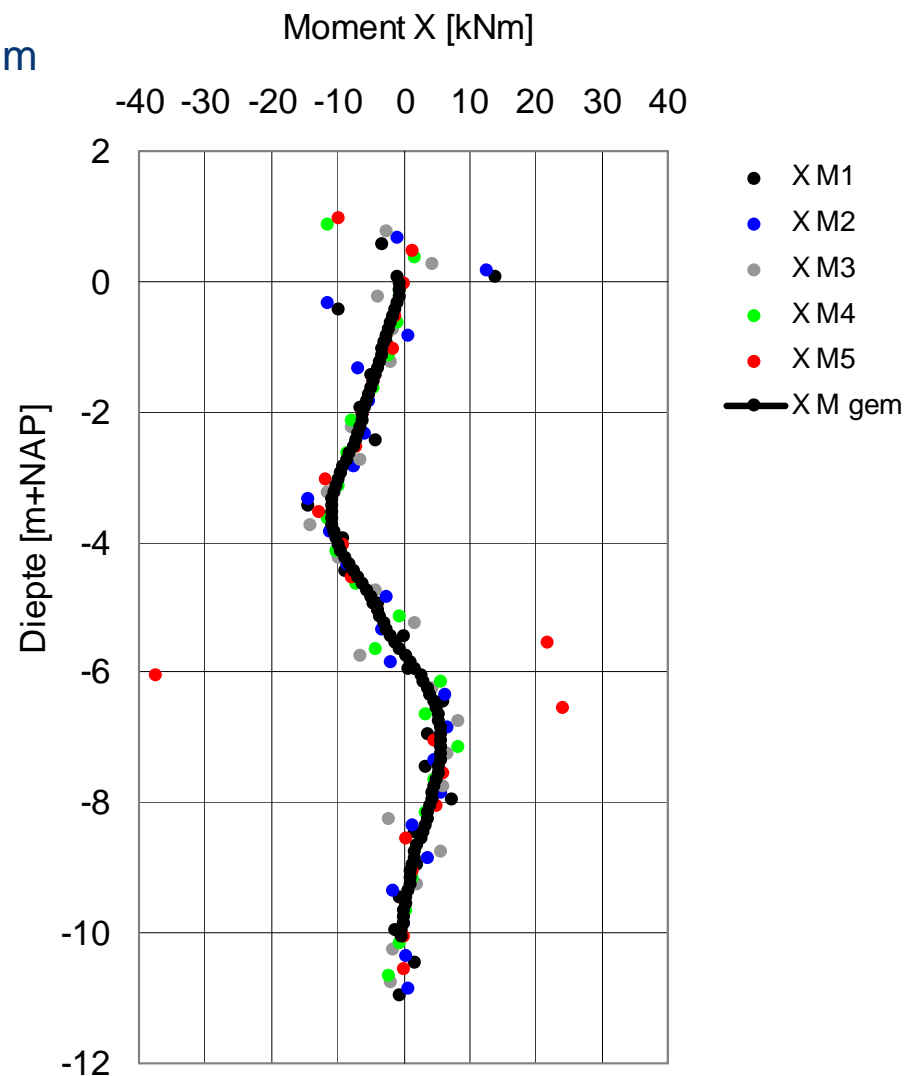


# Hellingmeting – Buigend moment

meetinterval instrument is 0,50 m  
meetinterval verkleind naar meting per 0,10 m

$$M = -EI \frac{d^2 u}{dx^2}$$

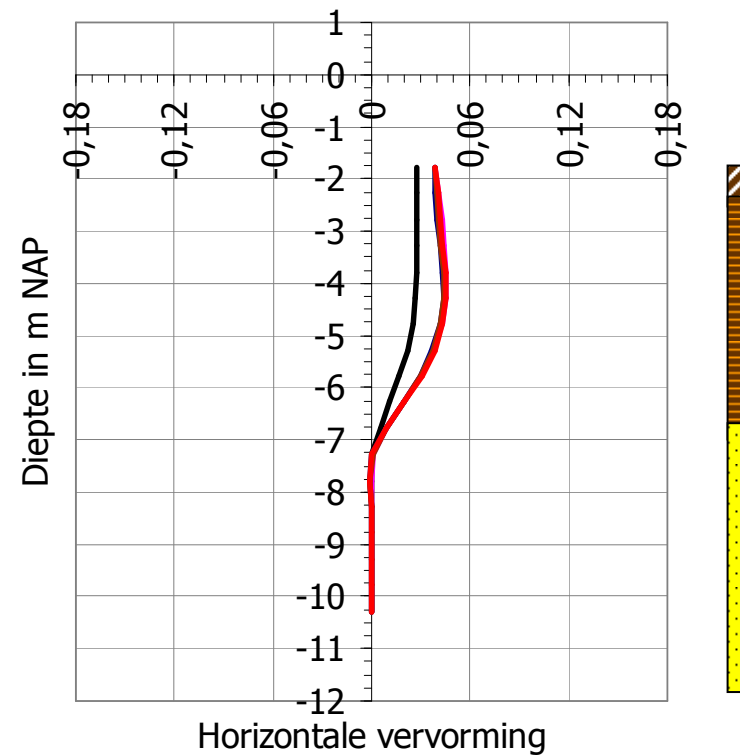
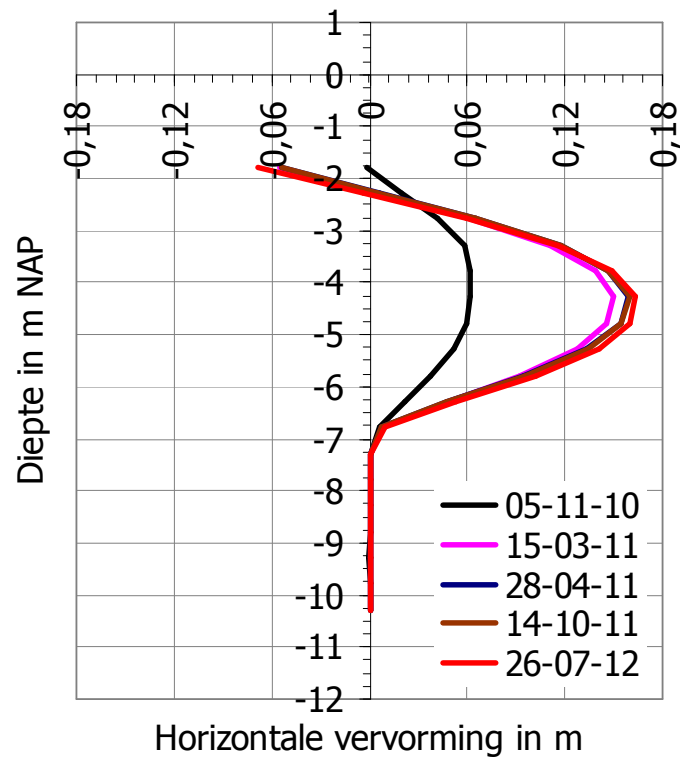
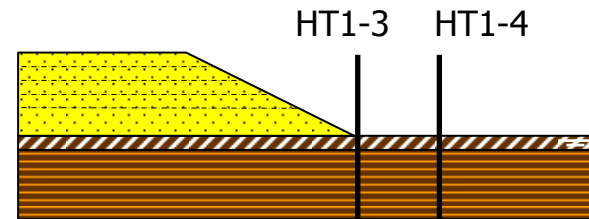
$$M = -EI \frac{d\phi}{dx}$$



# Horizontale grondvervorming en paalgedrag



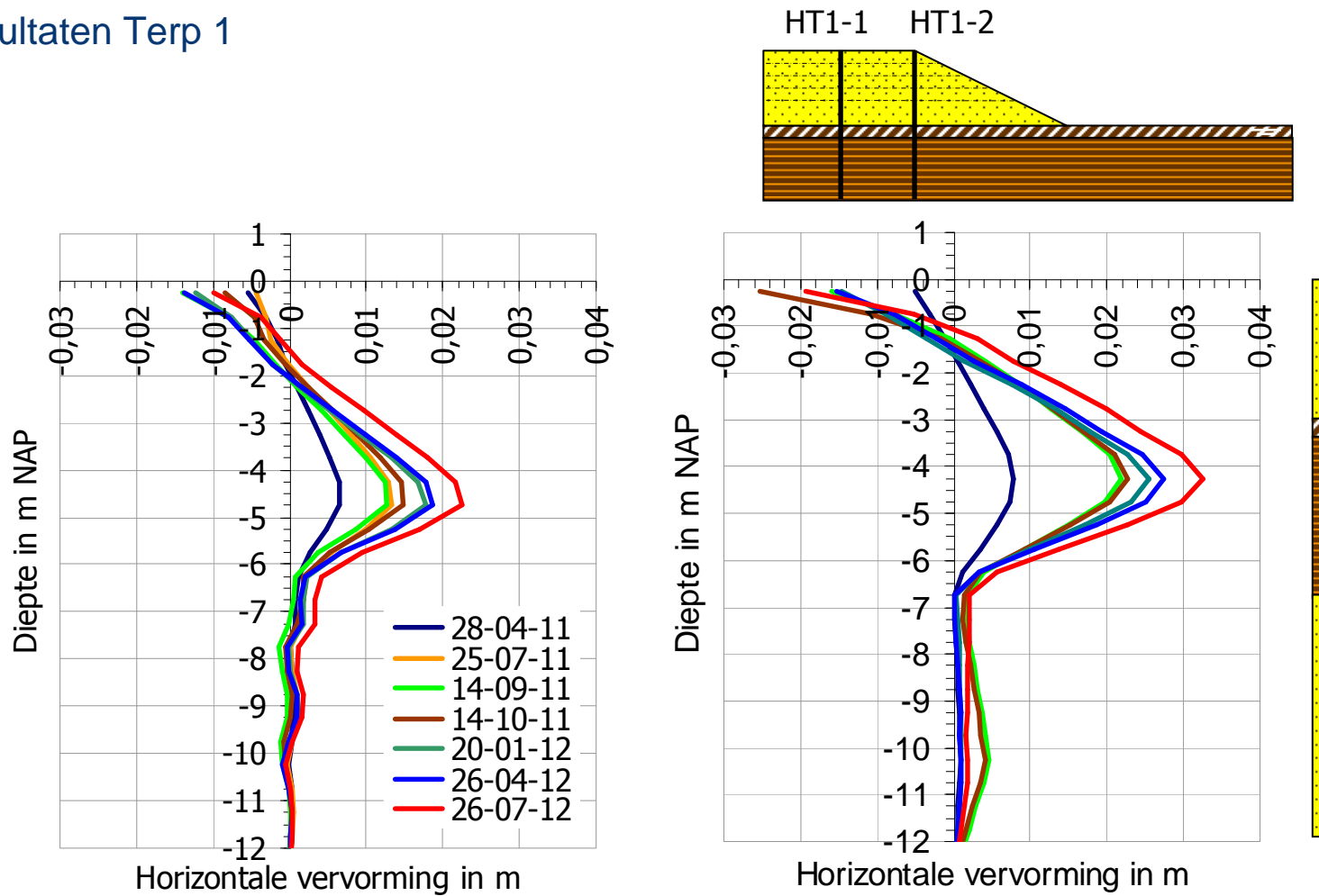
Resultaten Terp 1 (4,0 m veen)  
Terp 2, vervormingen ca.1,5 x zo  
groot (5,8 m veen)



# Horizontale grondvervorming en paalgedrag



## Resultaten Terp 1

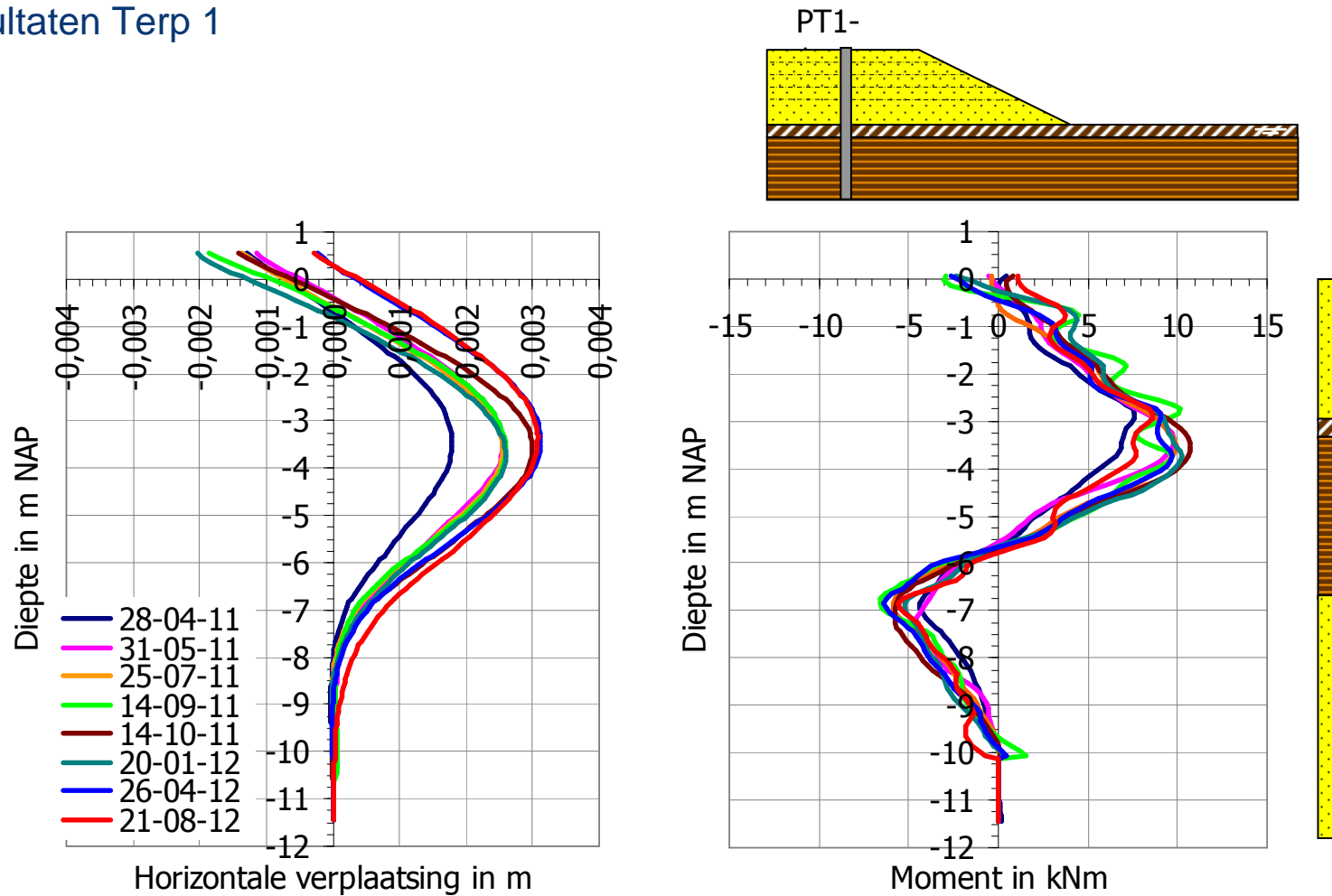




# Horizontale grondvervorming en paalgedrag



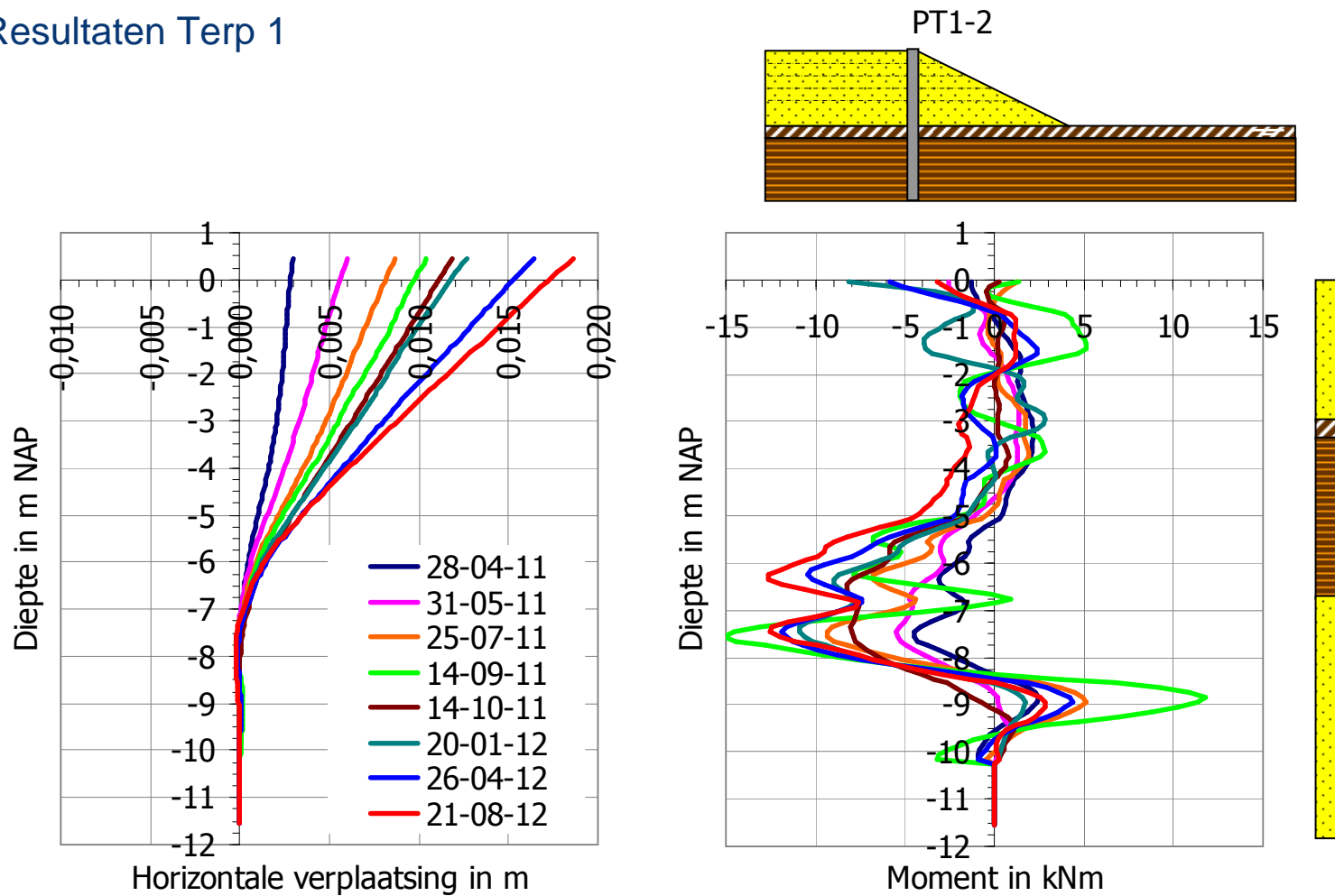
## Resultaten Terp 1



# Horizontale grondvervorming en paalgedrag



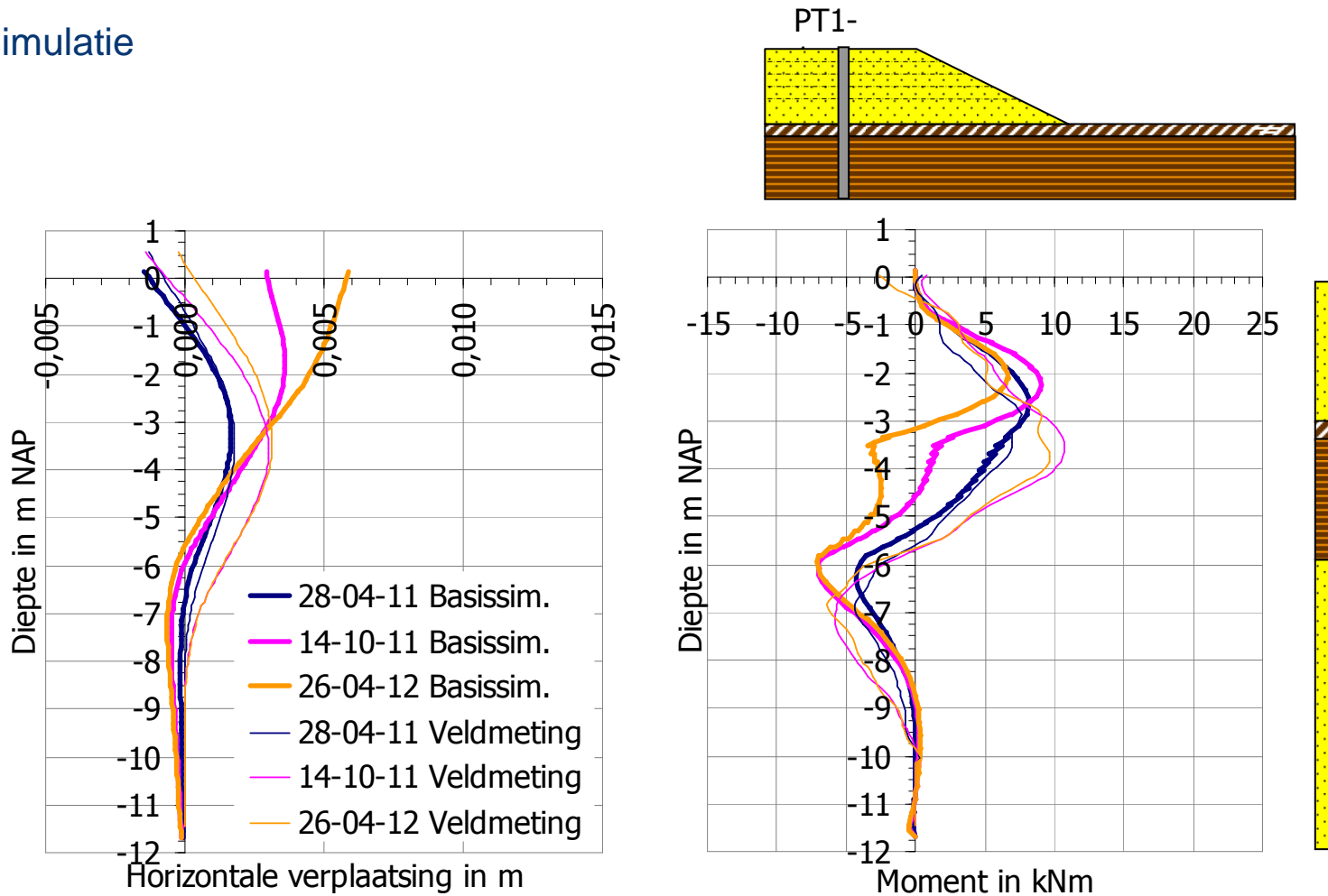
## Resultaten Terp 1



# Horizontale grondvervorming en paalgedrag



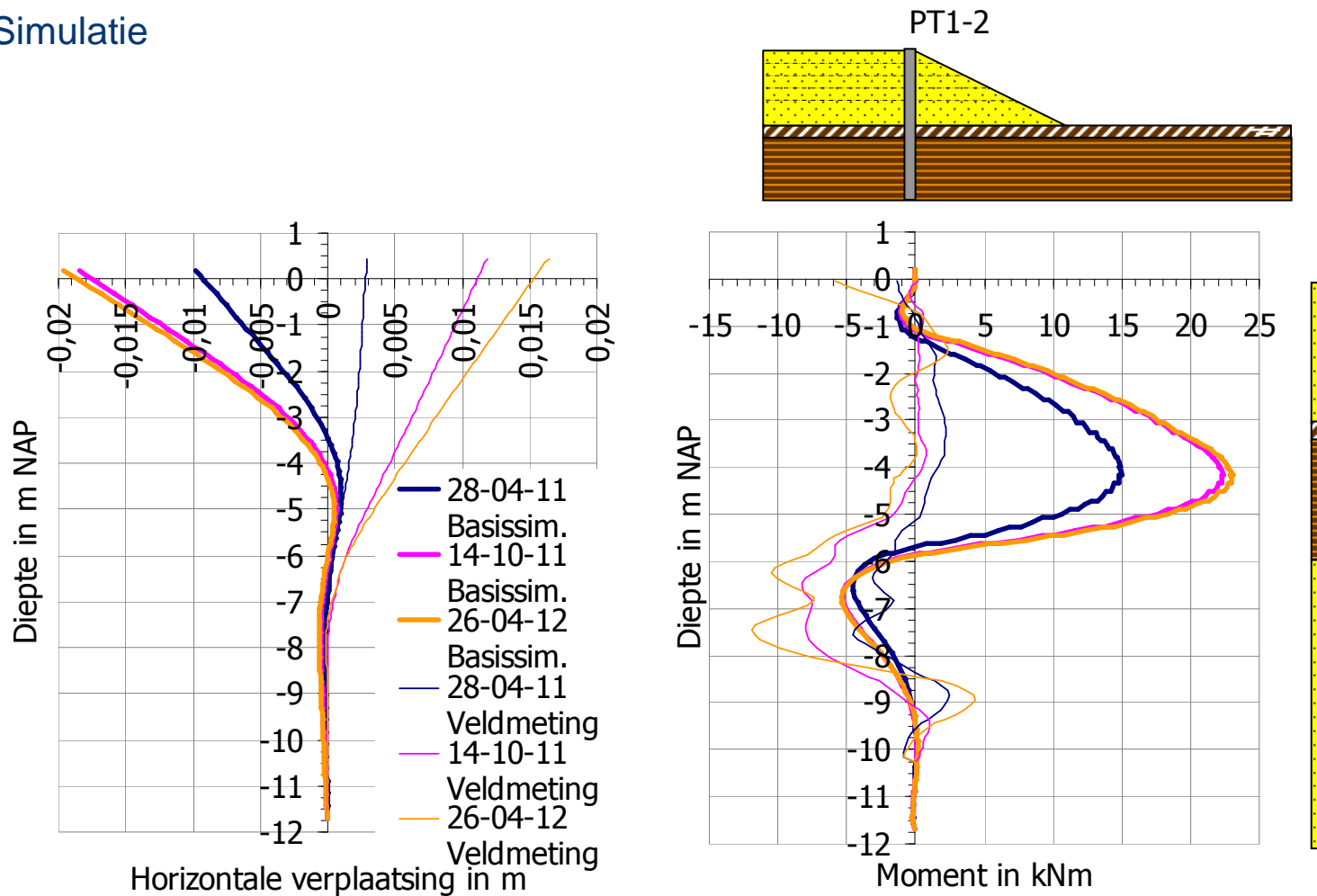
## 3D-Simulatie



# Horizontale grondvervorming en paalgedrag



## 3D-Simulatie



# Samenvatting

Uniek project: uitgebreide in-situ en laboratoriumtesten en monitoring

Langetermijnmetingen – 5 jaar

Nu: de eerste resultaten zijn beschikbaar en interessant

Toekomst: Veelbelovend

- Beter inzicht in consolidatiemodellen
- Kruipgedrag van veen onder belasting en achtergrondzetting
- Beschrijving wegnemen extra-overhoogte - zettingsmodellen
- Invloed van horizontale verplaatsing grond op funderingspalen

