



# ➤ Macrostabiliteit Paramaterbepaling van grof naar fijn

Alexander van Duinen  
Deltares

Pilot-cursus Macrostabiliteit  
23 september 2016



## Inhoud

- Benodigde parameters
- Wanneer  $s_u$  toepassen?
- Van grof naar fijn werken
- Default parameter-waarden
- Grensspanning uit sonderingen
- Parameterbepaling en WBI-SOS
- Parameters voor Waternet Creator

# Benodigde parameters

Parameter voor macrostabiliteitsanalyse	symbool	Invoer Ringtoets	type (*)	paragraaf
(On)verzadigd volumiek gewicht	$\gamma, \gamma_{sat}, \gamma_{subst}$	X	determ (50)	7.2
Effectieve verticale spanning	$\sigma'_{vi}$		geen invoer	7.3
Cohesie	$c'$		geen invoer	7.4
Hoek van inwendige wrijving	$\phi'$	X	Stochast / Determ (95)	7.5
Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio	$S$	X	Stochast / Determ (95)	7.6
Sterktetoename-exponent	$m$	X	Stochast / Determ (95)	7.7
Grensspanning	$\sigma'_{vy}$	X	Stochast / Determ (95)	7.8
Overconsolidatieratio	$OCR$		geen invoer	7.8
Freatische lijn	$h_{water}$	X	Determ (50)	7.9
Waterspanningen watervoerende lagen	$u$		geen invoer	7.10
Polderpeil/ slootpeil		X	Determ (50)	7.11
Leklengte buitenwaarts en binnenwaarts	$\lambda$	X	Determ (50)	7.12
Indringingslengte		X	Determ (50)	7.13
Buitenwaterstand	$h$	HR	geen invoer	7.14
Waterstandsverlooplijn	$h(t)$	HR	geen invoer	7.15

➤ Overzicht benodigde parameters

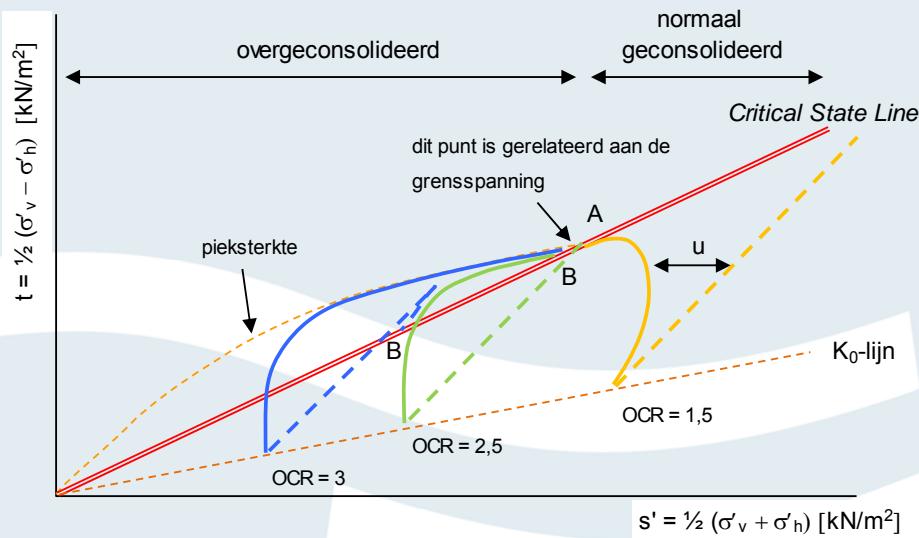
# Parameters $s_u$

$$s_u = \sigma'_{vi} S OCR^m$$

$$OCR = \sigma'_{vy} / \sigma'_{vi} = (\sigma'_{vi} + POP) / \sigma'_{vi}$$

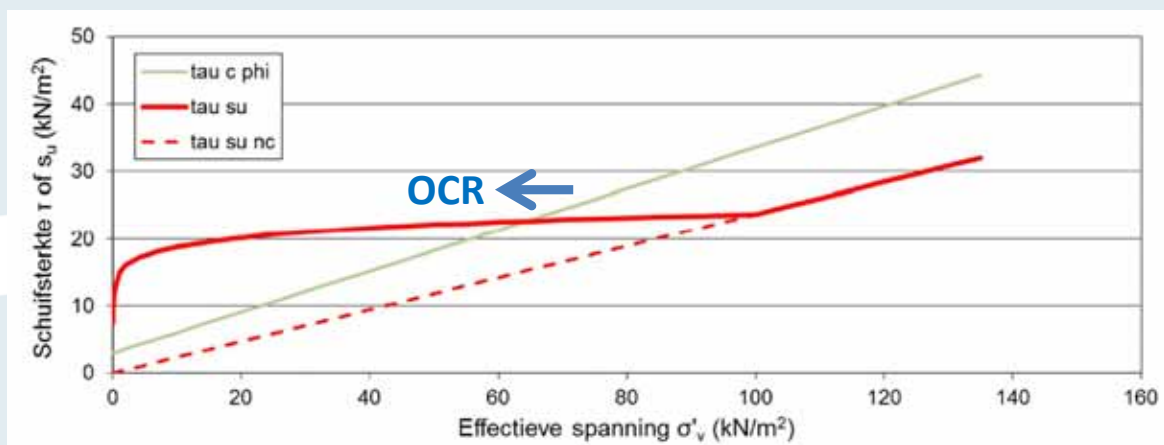
- $s_u$  ongedraineerde schuifsterkte (kN/m<sup>2</sup>)
- $\sigma'_{vi}$  in situ effectieve verticale spanning (kN/m<sup>2</sup>)
- $S$  normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio =  $(s_u / \sigma'_{vc})_{nc}$  (-)
- $OCR$  overconsolidatieratio (-)
- $m$  sterkte toename exponent (-)
- $\sigma'_{vy}$  grensspanning (kN/m<sup>2</sup>)
- $POP$  pre overburden pressure (kN/m<sup>2</sup>)

# Parameters $s_u$



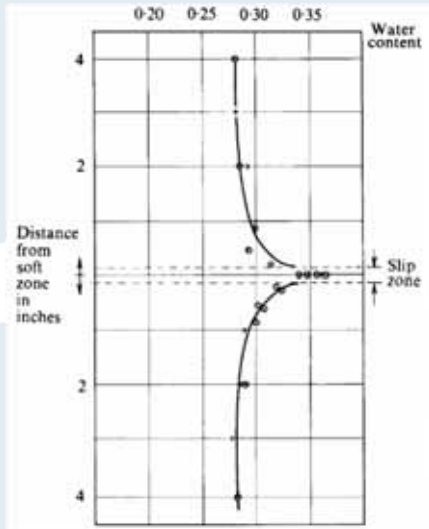
- Ongedraineerde schuifsterkte afhankelijk van in situ spanning  $\sigma'_{vi}$  en belastinggeschiedenis OCR

# Parameters $s_u$



- Ongedraineerde schuifsterkte afhankelijk van in situ spanning  $\sigma'_{vi}$  en belastinggeschiedenis OCR

## Wanneer $s_u$ toepassen?



Afschuiving London clay Uxbridge (Henkel, 1956)

- ⇒ Ongedraineerd gedrag als bezwijken van de grond sneller gaat dan dissipatie van waterspanningen
- ⇒ Lokale wateroverspanning en drainage bij schuifvlak
- ⇒ Lokaal bezwijken altijd veel sneller dan ontwikkeling vervorming aan maaiveld

## Wanneer $s_u$ toepassen?

- ⇒ Meest kritische analyse (laagste SF) maatgevend
- ⇒  $s_u$  toepassen bij slecht doorlatende grondlagen
- ⇒  $s_u$  maatgevend bij hogere effectieve spanningen en normaal en licht overgeconsolideerde grond
- ⇒ Gedraineerde schuifsterkte maatgevend bij lage effectieve spanningen (gemiddeld langs schuifvlak)
- ⇒ Uitzondering: gedraineerde schuifsterkte toepassen bij dilatant gedrag in slecht doorlatende grondlagen: onverzadigde grond, dijksmateriaal, siltige klei (gemiddeld langs schuifvlak  $OCR > 2,5$  à  $3,0$ )
- ⇒ Niet gedraineerde en ongedraineerde schuifsterkte voor slecht doorlatende lagen gecombineerd toepassen
- ⇒ Boven freatisch vlak gedraineerde schuifsterkte

## Van grof naar fijn werken

- ⇒ Default parameter waarden  $S$ ,  $m$ ,  $POP$ ,  $\phi'$
- ⇒ Grensspanning uit sonderingen met default conusfactor  $N_{kt}$
- ⇒ Grensspanning uit sonderingen met lokale  $N_{kt}$  bepaling
- ⇒ Lab proeven voor bepaling  $S$  en  $m$
- ⇒ Ongedraineerde schuifsterkte uit sonderingen met lokale  $N_{kt}$  bepaling

## Default parameter-waarden

Grondsoort	SOS eenheid	Typische waarden van $S$ [-] <sup>1)</sup>	Verwachtingswaarde $S$ [-]	Standaardafwijking $S$ [-] <sup>2)</sup>	Variatiecoëfficiënt $S$ [-] <sup>2)</sup>
Veen mineraalarm	H_Vhv_v	0,28 - 0,54	0,42	0,04	0,09
Verslagen veen / detritus	H_Vhv_v, H_MI_ko	0,29 - 0,43	0,38	0,03	0,10
Veen kleig	H_Rk_vk	0,24 - 0,38	0,29	0,03	0,12
Veen compact	H_Vbv_v	0,30 - 0,33	0,31	0,03	0,09
Gyttja	Diversen <sup>6)</sup>	0,27 - 0,34	0,30	0,03	0,10
Klei weinig / klei organisch	H_Mp_ko, H_MI_ko H_Rr_o8z, H_Rk_k&v H_Rk_ko	0,16 - 0,38 <sup>3)</sup>	0,29	0,06	0,20
Klei	H_Mp_k, H_Rk_k P_Mp_k, P_Om_k P_Ova_sd	0,22 - 0,28	0,25	0,03	0,10
Klei zandig en siltig <sup>7)</sup>	H_Mr_kz, H_Mkw_z&k H_Ro_z&k, P_Rk_k&s P_Rbk_z&s	0,22 - 0,50	0,30	0,03	0,10
Löss <sup>5) 7)</sup>	P_Wls_s	0,30 - 0,50	0,35	0,04	0,10
Keileem <sup>5) 7)</sup>	P_Gkl_kz	0,30 - 0,50	0,40	0,06	0,15
Dijkmateriaal <sup>4) 7)</sup>	H_Aa_ht	0,23 - 0,50	0,31	0,06	0,20

- ⇒ Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio  $S$

## Default parameter waarden

Afzetting / grondsoort	SOS eenheid	Bandbreedte POP (kPa)	Verwachtingswaarde POP (kPa)	Karakteristieke waarde POP (kPa) inclusief uitmiddeling van onzekerheid
Echteld klei ondiep <sup>1)</sup>	H_R,...	5 - 65	27	15
Echteld klei diep <sup>1)</sup>	H_R,...	0 - 75	24	8
Naaldwijk klei ondiep <sup>1)</sup>	H_M,...	5 - 60	25	15
	H_E,...			
Naaldwijk klei diep <sup>1)</sup>	H_M,...	0 - 30	14	7
	H_E,...			
Hollandveen	H_Vhv_v	0 - 60	11	1
Basisveen	H_Vbv_v	10 - 60	25	15
Dijksmateriaal (klei)	H_Aa_ht	0 - 150	30	7
Overig klei	diversen	0 - 75	22	10

- ⇒ Indicatieve waarden voor POP
- ⇒ Gelden voor dagelijkse omstandigheden met normale gemiddelde buitenwaterstand
- ⇒ 'diep' is onder Hollandveen en 'ondiep' is boven Hollandveen of bovenste 3 m vanaf maaiveld

## Default parameter-waarden

- ⇒ Matig gesorteerd matig hoekig kwartzand (SOS eenheden H\_Rg\_z.. en P\_Rg\_z..): 34<sup>0</sup> (VC = 0,05)
- ⇒ Goed gesorteerd afgerond kwartzand (dekzand; SOS eenheid P\_Wdz\_zf): 30<sup>0</sup> (VC = 0,05)
- ⇒ Zand met kleilaagjes (getijdenafzettingen): 32<sup>0</sup> (VC = 0,07)
- ⇒ Zandige en siltige klei, löss, keileem: 32<sup>0</sup> (VC = 0,07)
- ⇒ Dijksmateriaal: 32<sup>0</sup> (VC = 0,10)

## Grensspanning

- ⇒ Bepalen uit sonderingen (CPTu), samendrukkingsproeven (OED), constant rate of strain (CRS) proeven
- ⇒ CPTu: veel informatie voor relatief lage kosten; geeft inzicht in sterke en zwakke locaties, maar geen directe meting
- ⇒ OED en CRS: directe metingen, maar hogere kosten vanwege boringen
- ⇒ CRS: verzadigd monster en uitwerking niet afhankelijk van belastingstappen

## Grensspanning uit sonderingen

- ⇒ Bestaande sonderingen met meting van conusweerstand en plaatselijke kleeft
- ⇒ Bestaande sonderingen tenminste NEN 5140 klasse 2 of NEN-EN-ISO-22476-1 klasse 3
- ⇒ Meetgegevens dienen digitaal beschikbaar te zijn (bijvoorbeeld GEF)
- ⇒ Situatie van dijk en ondergrond tijdens uitvoering sonderingen dient vergelijkbaar te zijn met de huidige situatie

## Grensspanning uit sonderingen

- ⇒ Nieuwe sonderingen volgens NEN-EN-ISO-22476-1 klasse 1 of klasse 2 met waterspanning ( $u_2$ )
- ⇒ Temperatuur conus gelijk aan temperatuur van de grond
- ⇒ Goede ontluchting van conus en filter voor waterspanningsmetingen
- ⇒ Regelmatig kalibreren
- ⇒ Alleen geringe slijtage conus
- ⇒ Eisen in sondeerprotocol (in ontwikkeling)

## Grensspanning uit sonderingen

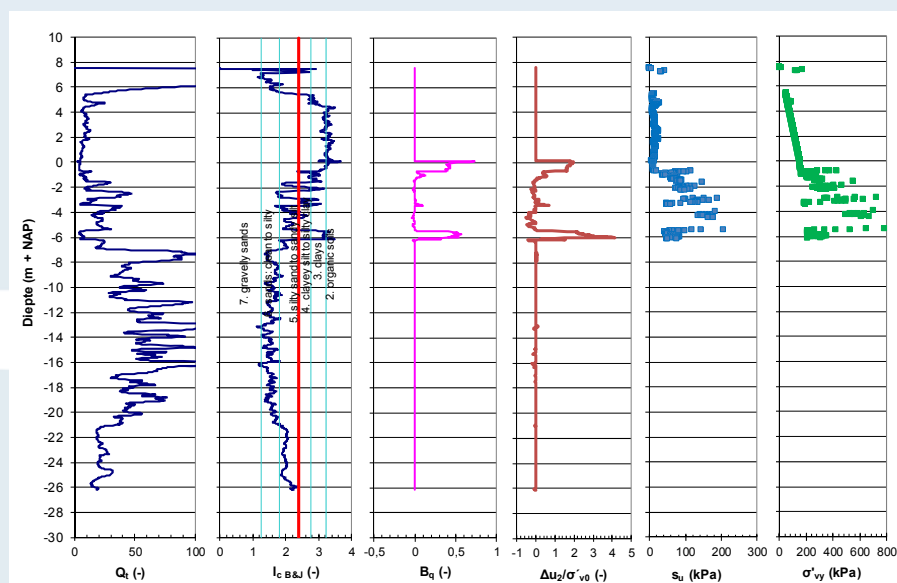
- ⇒ Corrigeren gemeten sondeerweerstand voor waterspanning en totaalspanning
- ⇒ Berekenen verwachtingswaarde ongedraineerde schuifsterkte uit gecorrigeerde sondeerweerstand
- ⇒ Berekenen verwachtingswaarde grensspanning
- ⇒ Berekenen standaardafwijking en karakteristieke waarde grensspanning



# Grensspanning uit sonderingen

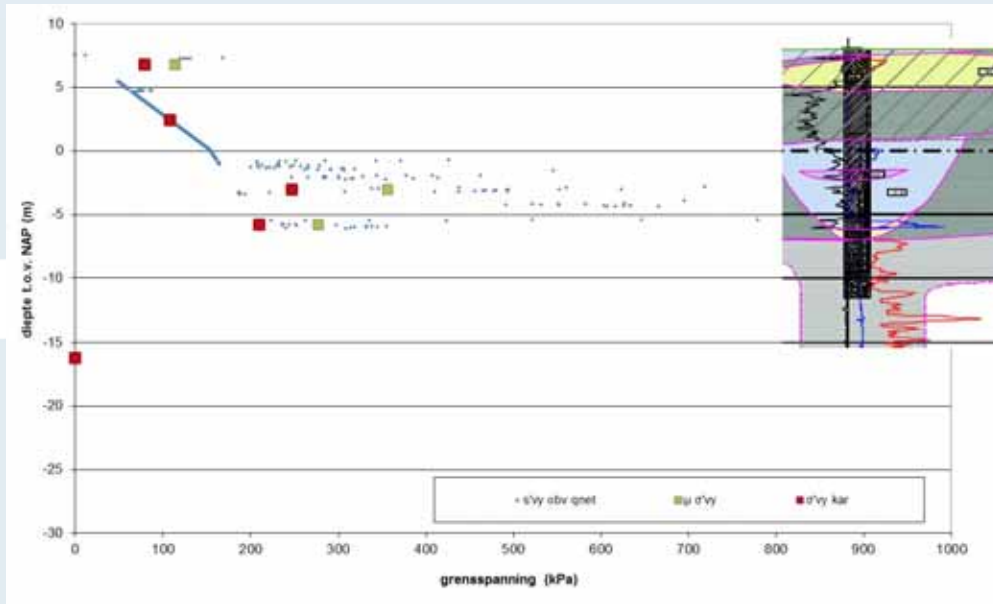
- Vorige slide in formules:
- $q_{\text{net}} = q_c + u_2 (1 - a) - \sigma_{vi}$
- $s_u = q_{\text{net}} / N_{kt}$
- $\text{OCR} = (s_u / (\sigma'_{vi} S))^{1/m}$
- $\sigma'_{vy} = \sigma'_{vi} \text{OCR}$
- $\sigma'_{vy;kar} = \exp[\mu_{\sigma'vy} - t_{n-1} \sigma_{\sigma'vy}]$
- $N_{kt} = 20$  voor verzadigde grond en  $N_{kt} = 60$  voor onverzadigde grond ( $VC = 0,25$ )
- Variatiecoëfficiënt grensspanning is 0,21

# Grensspanning uit sonderingen



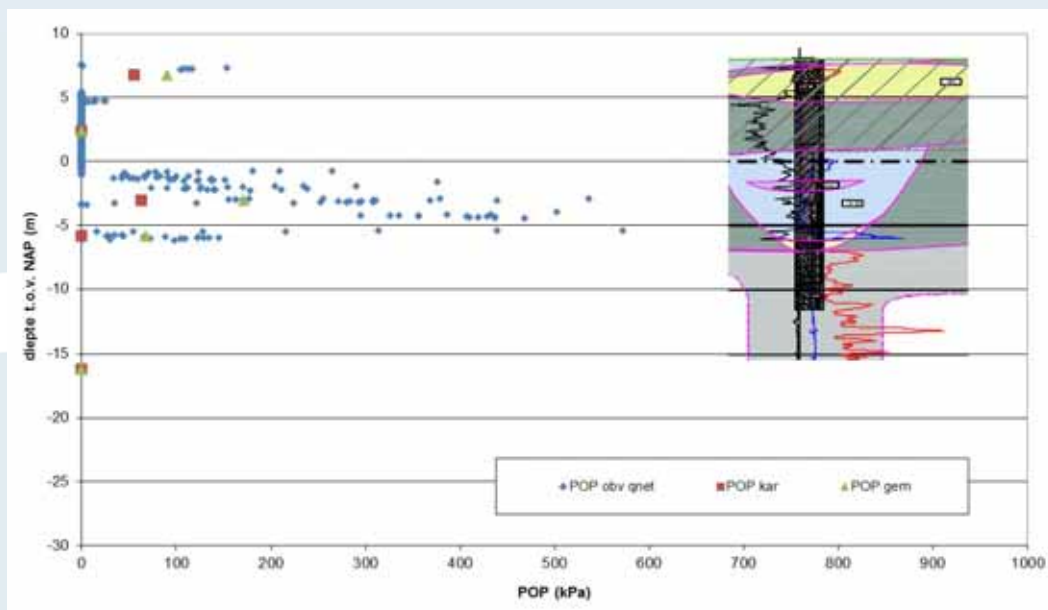
- Voorbeeld bepalen grensspanning
- Gedraineerde en ongedraineerde lagen

# Grensspanning uit sonderingen



➡ Voorbeeld bepalen grensspanning

# Grensspanning uit sonderingen



➡ Voorbeeld bepalen grensspanning



## Parameterbepaling en SOS

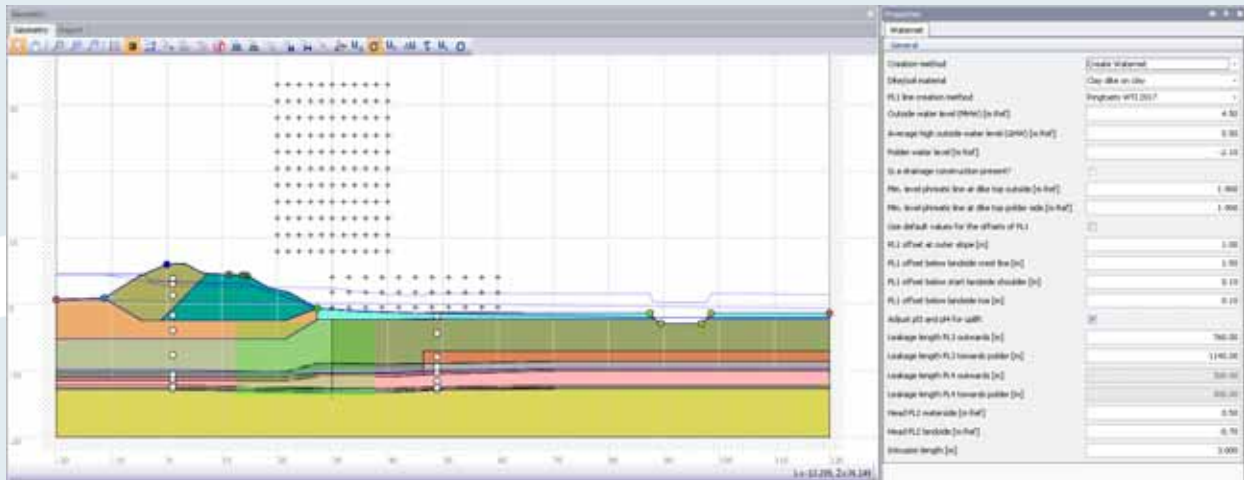
- Data inwinnen gekoppeld aan SOS
- Dezelfde SOS eenheden in meerdere beheersgebieden
- Meerdere kleinere datasets maken een grote dataset
- Let op uniformiteit data



## Waternet Creator

- Uniformering schematisering waterspanningen
- Sluit nauw aan bij TR Waterspanningen bij Dijken
- Tool voor automatisch schematiseren op basis van parameters (eenduidig en efficiënt bij toepassen scenario's en probabilistische toets)
- Gedeeltelijke eigen invoer door gebruiker ook mogelijk

# Waternet Creator

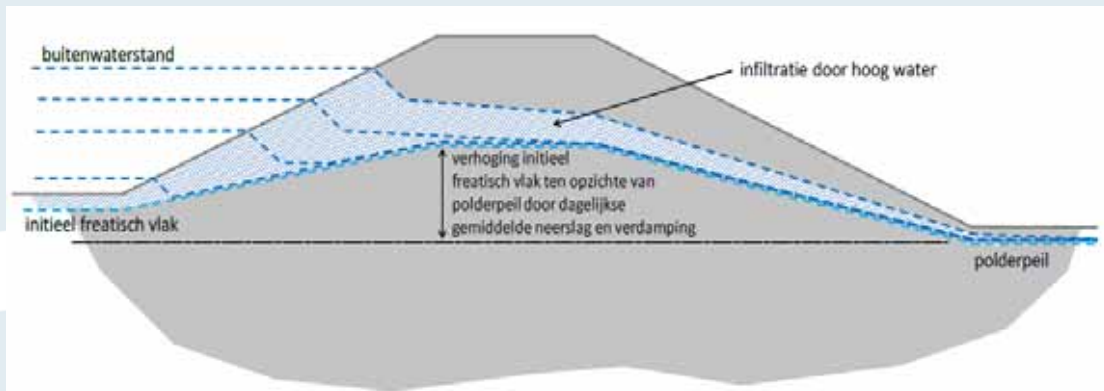


- Invulscherm Waternet Creator
- 9 tot 15 parameters

# Waternet Creator

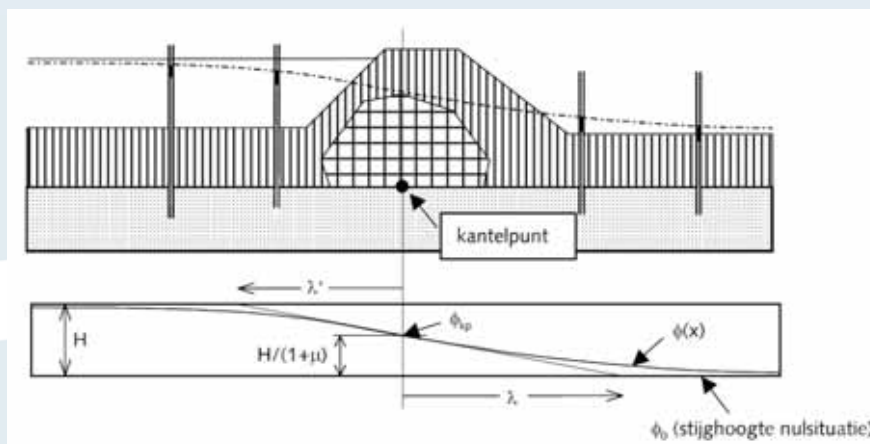
- Keuze uit 4 typen dijken
- Schematisatie gekoppeld aan karakteristieke punten geometrie
- Waterstanden en polderpeil
- Parameters voor freatisch vlak, stijghoogte en indringingslengte
- Parameters aanpassen voor kort durend hoogwater

# Parameters Waternet Creator



- ⊕ Parameters freatisch vlak
- ⊕ Initiële niveau freatisch vlak
- ⊕ Ligging freatisch vlak t.o.v. buitenwaterstand

# Parameters Waternet Creator



- ⊕ Parameters stijghoogte
- ⊕  $\varphi_x - \varphi_0 = H e^{-x/\lambda} / (1 + \mu)$  met  $\mu = \lambda'/\lambda$
- ⊕  $\lambda' = \sqrt{(kDc)} \rightarrow$  metingen of DINO



**Meer informatie**  
STOWA

[opleidingen@stowa.nl](mailto:opleidingen@stowa.nl)

[www.opleidingen.stowa.nl](http://www.opleidingen.stowa.nl)