



# Beoordelen berekeningsresultaten

Alexander van Duinen  
Deltares

Pilot-cursus Macrostabiliteit  
30 september 2016



## Inhoud

- Aandachtspunten
- Controles
- Van stabiliteitsfactor naar faalkans met scenario's
- Vervolgonderzoek
- Toets op maat

# Aandachtspunten

- Waterspanningen glijvlakberekening goed geschematiseerd?
- Meest kritische glijvlak gevonden?  
Middelpunten, raaklijnen, glijvlak wat tot falen kan leiden?
- Berekende stabiliteitsfactoren logisch voor verschillende scenario's?

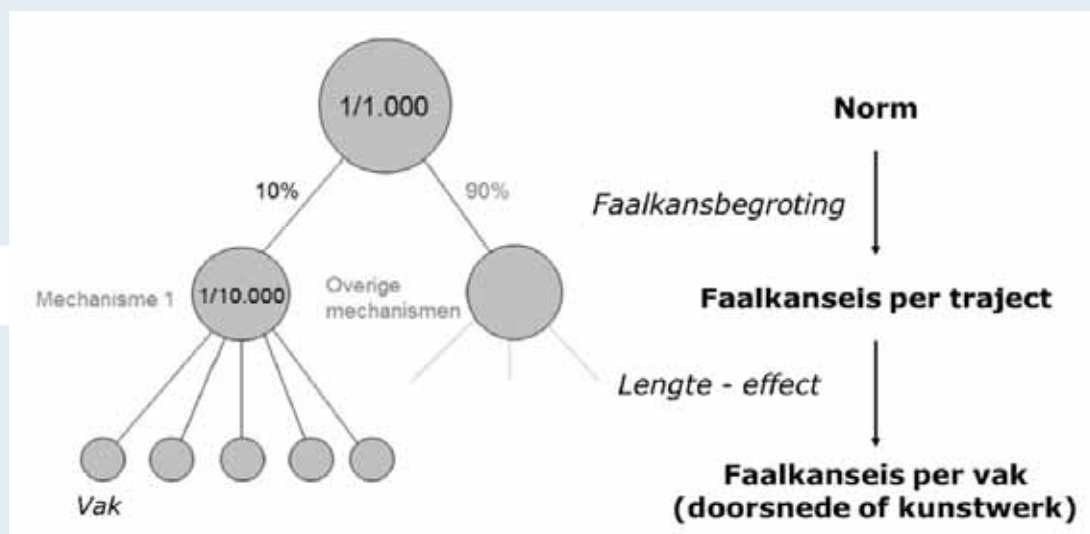
# Controles

- Figuur glijvlak met middelpunten en raaklijnen
- Figuren waterspanningen langs glijvlak en waterspanningen per verticaal
- Figuren spanningen langs glijvlak en spanningen per verticaal
- Tabellen met schuifsterkte, OCR en POP per lamel

# Berekenen faalkans

- Bepalen norm, lengte dijktraject en faalkansruimte
- Berekenen faalkanseis voor doorsnede met lengte-effectfactor
- Berekenen stabiliteitsfactor per scenario (glijvlakberekeningen)
- Berekenen faalkans per scenario
- Berekenen faalkans per doorsnede
- Vergelijken faalkans met faalkanseis per doorsnede en toekennen toetsoordeel

# Berekenen faalkanseis



- Bepalen norm dijktraject en faalkansruimte
- Signaleringsnorm en ondergrens

# Berekenen faalkanseis

Toetsspoor	Duinen	Dijken en dammen
Hoogte kunstwerk (HTKW) of Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)	0	0,24
Piping (STPH)	0	0,24
Macrostabieleit binnenwaarts (STBI)	0	0,04
	0	0,01
Golfklappen op asfaltbekleding (AGK)		
Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)	0	0,05
Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)	0	0,01
Stabiliteit steenzetting (ZST)	0	0,03
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW)	0	0,04
Piping bij kunstwerk (PKW)	0	0,02
Sterkte en stabiliteit kunstwerk (STKWp)	0	0,02
Duinafslag (DA)	0,70	0
Overige toetssporen	0,30	0,30

⇒ Faalkansruimtefactor STBI en STBU: 0,04

# Berekenen faalkanseis

$$P_{etz,dam} = \frac{\omega P_{etz}}{N_{dam}}$$

Waarin:

$P_{etz,dam}$  Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/jaar].

$P_{etz}$  Norm van het dijktraject [1/jaar].

$\omega$  Faalkansruimtefactor voor het betreffende toetsspoor [-].

$N_{dam}$  Lengte-effectfactor voor een doorsnede of kunstwerk [-].

$$N_{dam} = 1 + \frac{a_1 \cdot L_{traject}}{b_1}$$

Waarin:

$a_1$  Mechanismegevoelige fractie van de dijktrajectlengte [-].

$b_1$  Lengtemaat die de intensiteit van het lengte-effect weergeeft binnen de mechanismegevoelige lengte van het dijktraject [m].

$L_{traject}$  Lengte van het dijktraject zoals vastgelegd in Bijlage II van de Waterwet [m].

⇒ STBU factor 10 hogere faalkanseis dan STBI

⇒  $a = 0,033$  en  $b = 50$  m

# Berekenen faalkans

$$P_{f,i} = \Phi \left( \frac{\left( \frac{F_{d,i}}{\gamma_d} \right) - 0,41}{0,15} \right)$$

Vgl 5.2

Waarin:

$P_{f,i}$  Faalkans voor scenario  $i$  [1/jaar].

$\Phi()$  Standaard (cumulatieve) normale verdeling [1/jaar].

$F_{d,i}$  Berekende stabiliteitsfactor voor een scenario  $i$ , gebaseerd op de rekenwaarde voor de schuifsterkte [karakteristieke waarde gedeeld door de materiaalfactor].

$\gamma_d$  Modelfactor [-].

$$P_{f,dms} = \sum_{i=1}^n (P(S_i) \cdot P_{f,i})$$

Waarin:

$P_{f,dms}$  Faalkans per doorsnede [1/jaar].

$P(S_i)$  Kans van voorkomen van een scenario  $i$  [-].

$P_{f,i}$  Faalkans bij scenario  $i$  [1/jaar].

- ⇒ Berekenen faalkans per scenario en per doorsnede

# Berekenen faalkans

Scenario	Stabiliteits-factor berekend $F_{d,i}$ [-]	Stabiliteits-factor correctie $F_{d,i}/\gamma_d$ [-]	Betrouw-baarheids-index bij scenario $\beta_i$ [-]	Faalkans bij scenario $P_{f,i}$ [1/jaar]	Kans van voorkomen scenario $P(S_i)$ [-]	Faalkans gegeven scenario $P_{f,i S_i}$ [1/jaar]
D1	0,976	0,91	3,35	$4,07 * 10^{-4}$	0,06	$2,44 * 10^{-9}$
D2	0,744	0,70	1,90	$2,86 * 10^{-2}$	0,09	$2,57 * 10^{-3}$
D3	0,854	0,80	2,59	$4,83 * 10^{-3}$	0,15	$7,25 * 10^{-4}$
D4	0,946	0,88	3,16	$7,87 * 10^{-4}$	0,15	$1,18 * 10^{-4}$
D5	0,938	0,88	3,11	$9,33 * 10^{-4}$	0,05	$4,66 * 10^{-5}$
D6	0,835	0,78	2,47	$6,77 * 10^{-3}$	0,15	$1,02 * 10^{-3}$
D7	1,168	1,09	4,54	$2,76 * 10^{-6}$	0,05	$1,38 * 10^{-7}$
D8	0,842	0,79	2,51	$5,99 * 10^{-3}$	0,15	$8,98 * 10^{-4}$
D9	0,946	0,88	3,16	$7,87 * 10^{-4}$	0,15	$1,18 * 10^{-4}$
Faalkans doorsnede $P_{f,dms}$ [1/jaar]						$5,52 * 10^{-3}$

$\gamma_d$  is de modelfactor 1,06.

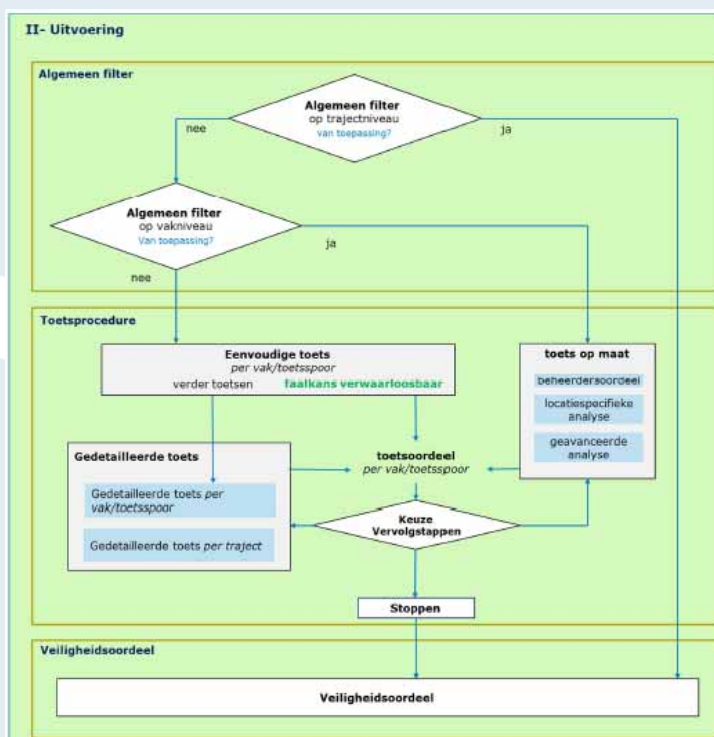
- ⇒ Berekenen faalkans per scenario en per doorsnede
- ⇒ Ondergrondscenario's en andere scenario's

# Berekenen faalkans

Cat.	Aanduiding categorie toetsoordeel per vak per toetsspoor	Begrenzing categorie
		$P_{f,dsn}$ Faalkans per vak (doorsnede of kunstwerk) [1/jaar]. $P_{eis,sig}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis,ond}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis,sig,dsn}$ Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/jaar]
I <sub>v</sub>	voldoet ruim	$P_{f,dsn} < \frac{1}{30} P_{eis,sig,dsn}$
II <sub>v</sub>	voldoet	$\frac{1}{30} P_{eis,sig,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,sig,dsn}$
III <sub>v</sub>	voldoet mogelijk	$P_{eis,sig,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,sig}$
IV <sub>v</sub>	voldoet niet (signaalwaarde)	$P_{eis,sig} < P_{f,dsn} < P_{eis,ond}$
V <sub>v</sub>	voldoet niet (ondergrens)	$P_{eis,ond} < P_{f,dsn} < 30P_{eis,ond}$
VI <sub>v</sub>	voldoet ruim niet	$P_{f,dsn} > 30P_{eis,ond}$
VII <sub>v</sub>	nog geen oordeel	

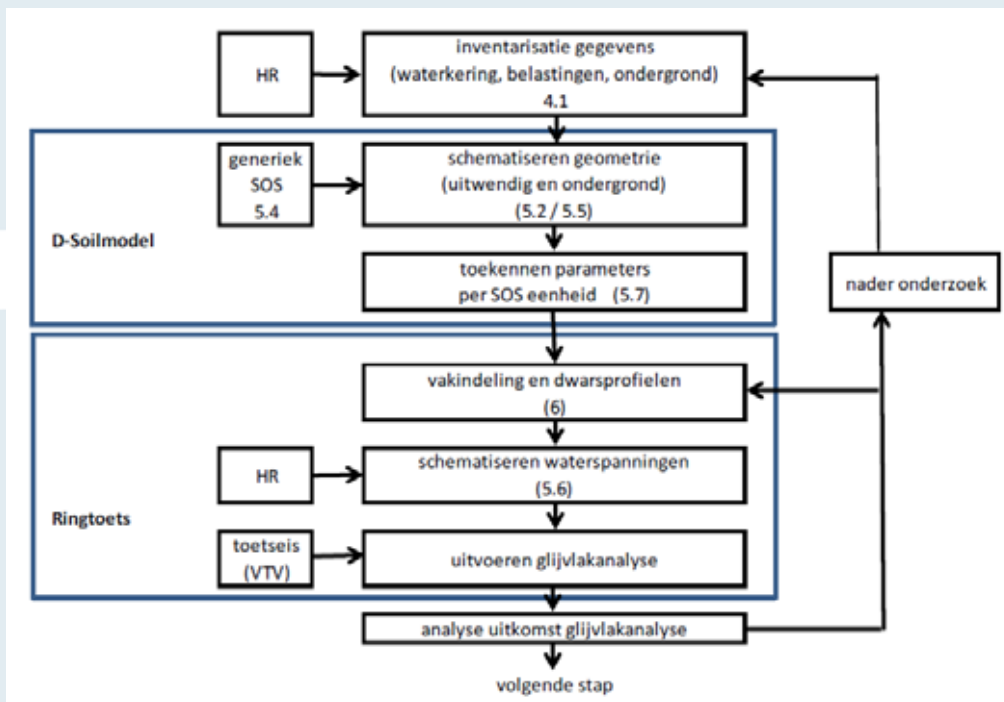
➔ Toekennen toetsoordeel

# Hoe verder?





# Hoe verder?



# Vervolgonderzoek

- Kritische ondergrondscenario's beter in kaart brengen (kans van voorkomen en verspreiding)
- Schuifsterkte parameters verfijnen ( $S$ ,  $N_{kt}$ )
- Waterspanningen meten (freatisch vlak of stijghoogte watervoerende zandlaag)
- Korte duur hoogwater in rekening brengen
- Gevoeligheidsberekeningen doen om in beeld te krijgen welk onderzoek effectief is

# Toets op maat

- Piekwaarde schuifsterkte toepassen (bijv. bij opbarsten dunne deklaag)
- Bewezen sterkte onderzoeken (parameter optimalisatie op basis van waarnemingen van overleefde hoge waterstanden)
- Eindige Elementen Modellen toepassen
- Reststerkte van de waterkering in rekening brengen



**Meer informatie**  
STOWA

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

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