

# **Probabilistiek in D-Stability**

## **FORM en Monte Carlo Importance Sampling**

Raymond van der Meij

16-11-2023



Select



Pan



Undo



Redo



Overview



Slip plane



Profile



Screenshot

Scenarios and stages

Dagelijks

Dagelijks

Dagelijks

Beperkt Hoogwater

Beperkt Hoogwater + Overslag

Medium Hoogwater

Medium Hoog Hoogwater

Dagelijks

Beperkt Hoogwater

Beperkt Hoogwater + Oversl...

Medium Hoogwater

Medium Hoog Hoogwater

Medium Hoog Hoogwater

Hoogwater

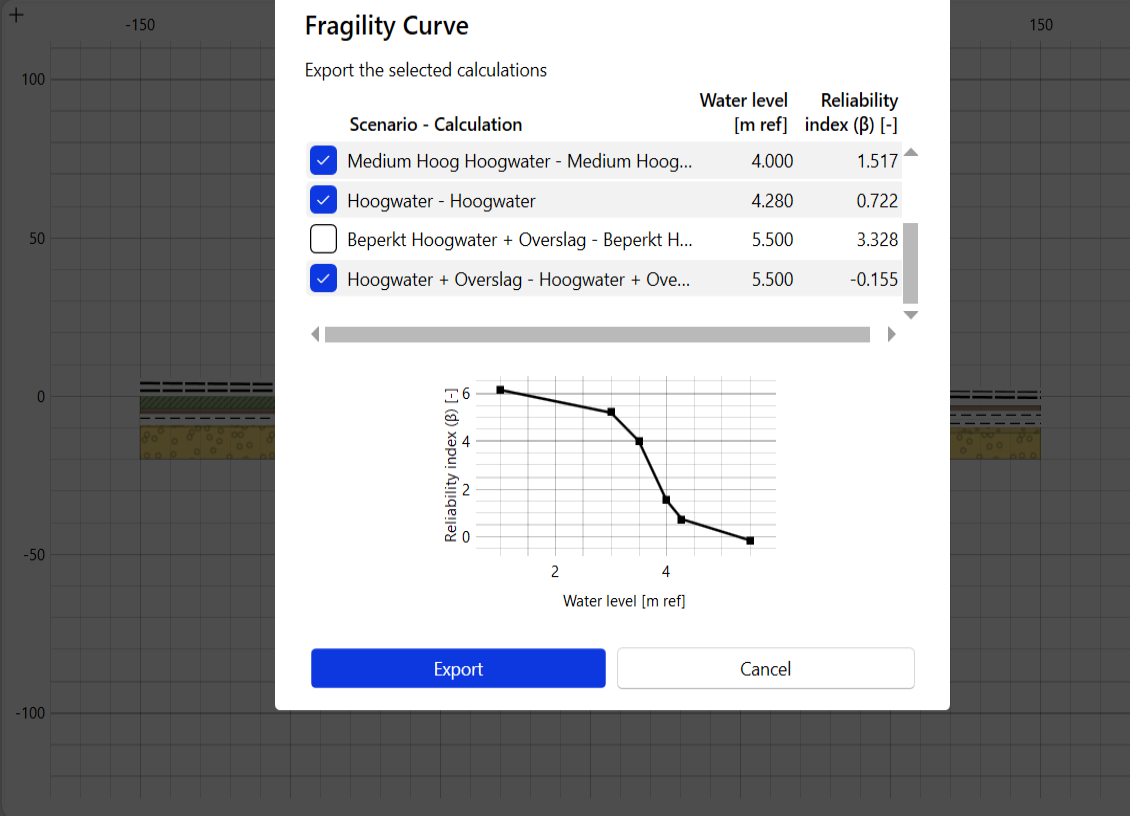
Dagelijks

Beperkt Hoogwater

Beperkt Hoogwater + Oversl...

Medium Hoogwater

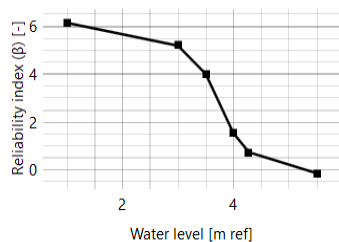
Medium Hoog Hoogwater - Mediu...



## Fragility Curve

Export the selected calculations

Scenario - Calculation	Water level [m ref]	Reliability index ( $\beta$ ) [-]
<input checked="" type="checkbox"/> Medium Hoog Hoogwater - Medium Hoog...	4.000	1.517
<input checked="" type="checkbox"/> Hoogwater - Hoogwater	4.280	0.722
<input type="checkbox"/> Beperkt Hoogwater + Overslag - Beperkt H...	5.500	3.328
<input checked="" type="checkbox"/> Hoogwater + Overslag - Hoogwater + Ove...	5.500	-0.155



Export

Cancel

Results

Reliability

Converged

Reliability index ( $\beta$ )

Yes

1.517 [-]

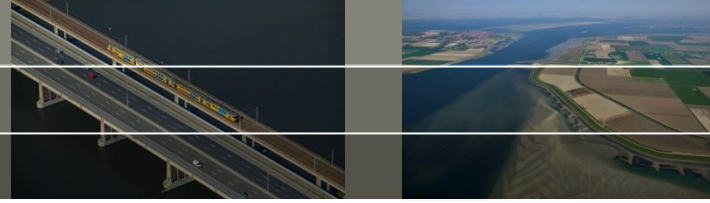
Failure probability

 $6.457 \times 10^{-2}$  [-]

Design point

Parameter	Alpha	Physical value
Frictional angle ( $\varphi$ )		
Zand Holoceen	0.200	33.446
Klei Ondiep	0.100	32.659
Dijksmateriaal	0.068	30.453
Zand Antropogeen	0.004	33.948
Strength increase exponent (m)		
Klei Diep	0.022	0.979
Klei Siltig Humeus	0.000	0.990
Hollandveen	0.038	0.799
Shear strength ratio (S)		
Klei Diep	0.226	0.243
Klei Siltig Humeus	0.014	0.268
Hollandveen	0.484	0.351
Pre-overburden pressure (POP)		
SP 1	0.137	14.350
SP 2	0.042	39.843
SP 4	0.002	4.371

# Probabilistische berekening



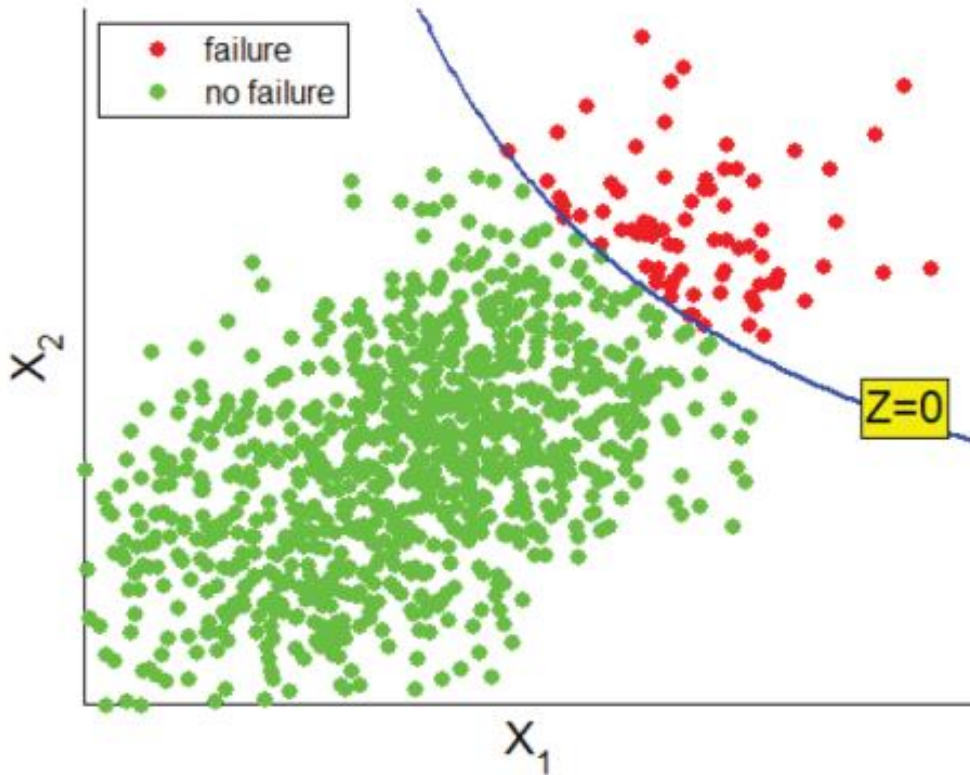
Faaldefinitie (z functie):  $Z = F_s - 1,0$

- Bij  $Z < 0$  spreken we van falen van de waterkering

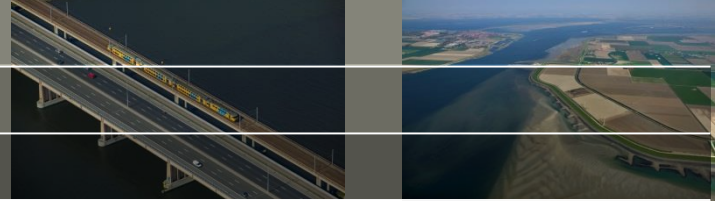
Monte Carlo

- Trek invoer parameters uit de bekende verdelingen
- Bereken  $F_s$ , bijvoorbeeld met D-Stability en een EEM methode
- Controleer de Z functie
- Bereken welk percentage van de berekeningen faalt ( $Z < 0$ ).

# Probabilistische berekening: Monte Carlo



# Probabilistische berekening



## Nadeel van Monte Carlo

- Om een faalkans van  $1/10000$  te berekenen moet je veel berekeningen uitvoeren
- Traag, niet geschikt voor kleine faalkansen

## Inmiddels twee meer geschikte alternatieven in D-Stability

- FORM
- Monte Carlos Importance Sampling

Deze vullen elkaar aan

# Probabilistische berekening

## FORM

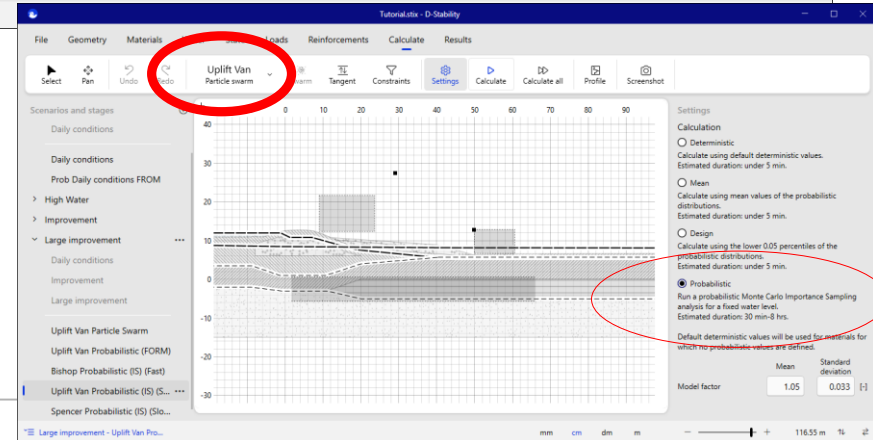
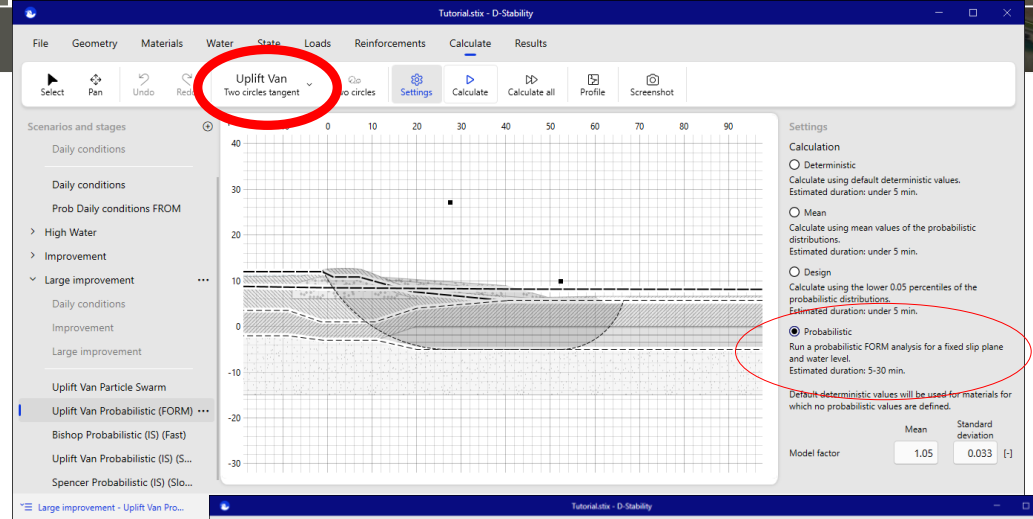
- Conditionele waterstand
- **Conditionele glijcirkel**

Probabilistic  
Run a probabilistic FORM analysis for a fixed slip plane and water level.  
Estimated duration: 5-30 min.

## Monte Carlo Importance Sampling

- Conditionele waterstand
- **Iedere trekking zoekt maatgevend glijvlak**

Probabilistic  
Run a probabilistic Monte Carlo Importance Sampling analysis for a fixed water level.  
Estimated duration: 30 min-8 hrs.

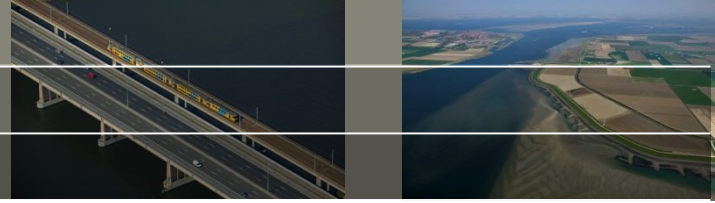


# Probabilistische berekening FORM

## FORM (First Order Reliability Method)

- Maak een schatting van het ontwerppunt door voor alle parameters de 95% ondergrenswaarde te trekken
- Bereken hierbij de veiligheidsfactor. Deze moet 1,0 worden ( $Z=0$ )
  - Onderzoek de invloed van de individuele parameters door kleine variaties te maken
  - Vindt de berekening met  $Z=0$  bij een ontwerppunt met zo min mogelijk standard deviaties van de gemiddelde waardes van de parameters
- Geen garantie dat FORM een oplossing vindt
  - Doelfunctie is te ver weg
  - Oplossingsruimte is sterk niet lineair
  - Te veel stochasten voor aantal iteraties

# FORM



Toon de FORM workflow in D-Stability via tutorial “High Water”



# Probabilistische berekening FORM



- Relatief snel. Ook door gebrek aan zoekalgoritme
- Met zoekalgoritme wordt de oplossingsruimte minder vlak door ruis

Robuust en betrouwbaar met een beperkt aantal stochasten

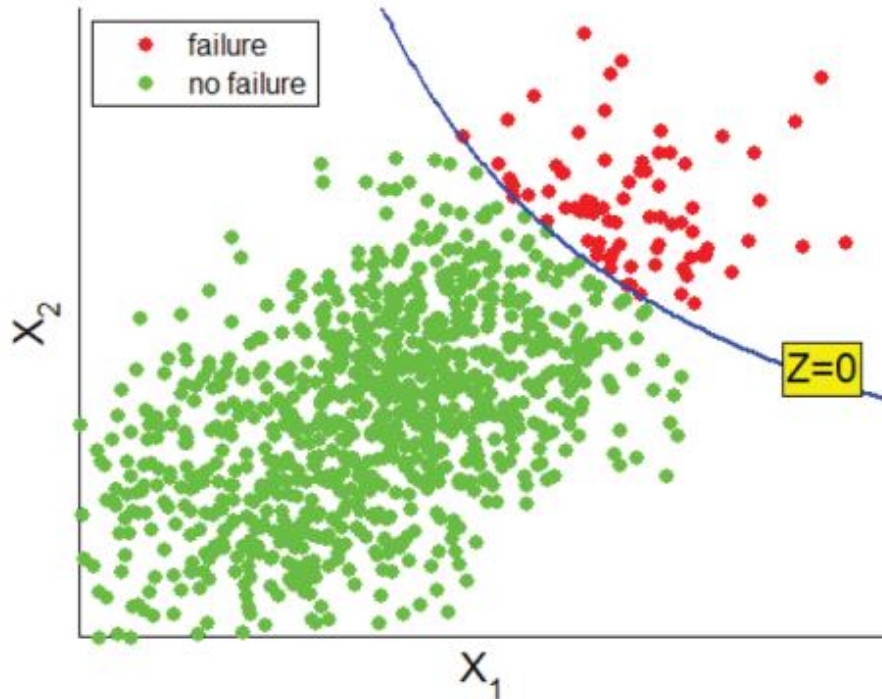
- Literatuur spreekt over verminderde betrouwbaarheid bij meer dan 8 stochasten

Het staat niet vast dat het bewuste glijvlak (met laagste  $S_f$ ) ook de hoogste faalkans heeft.

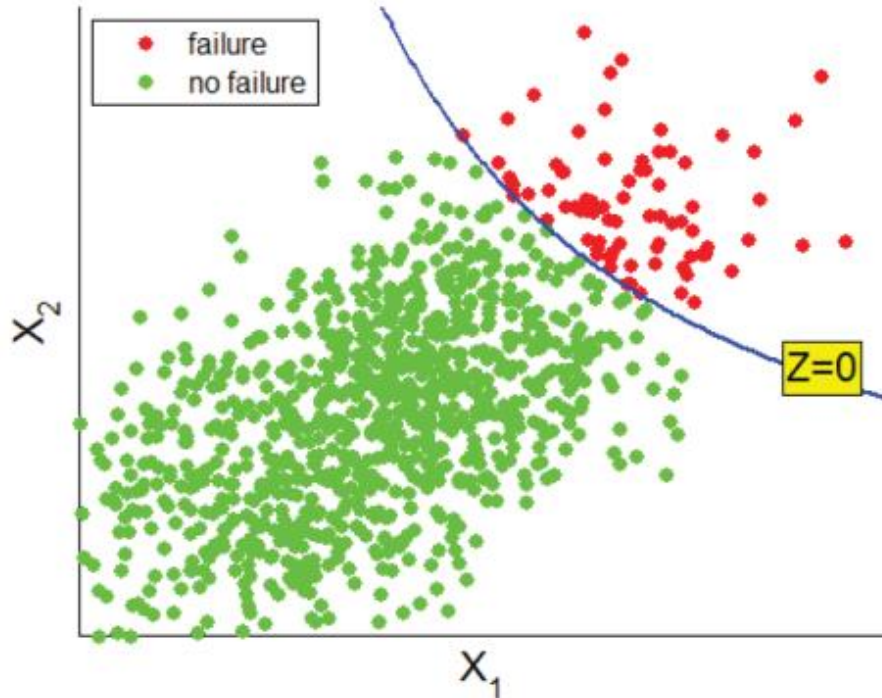
- Faalkans is vaak groter bij een vlak door minder lagen.
- Mogelijk dragen meerdere glijcirkels bij aan de totale faalkans. Dit onderzoeken is arbeidsintensief.

**MCIS biedt hier een uitkomst.**

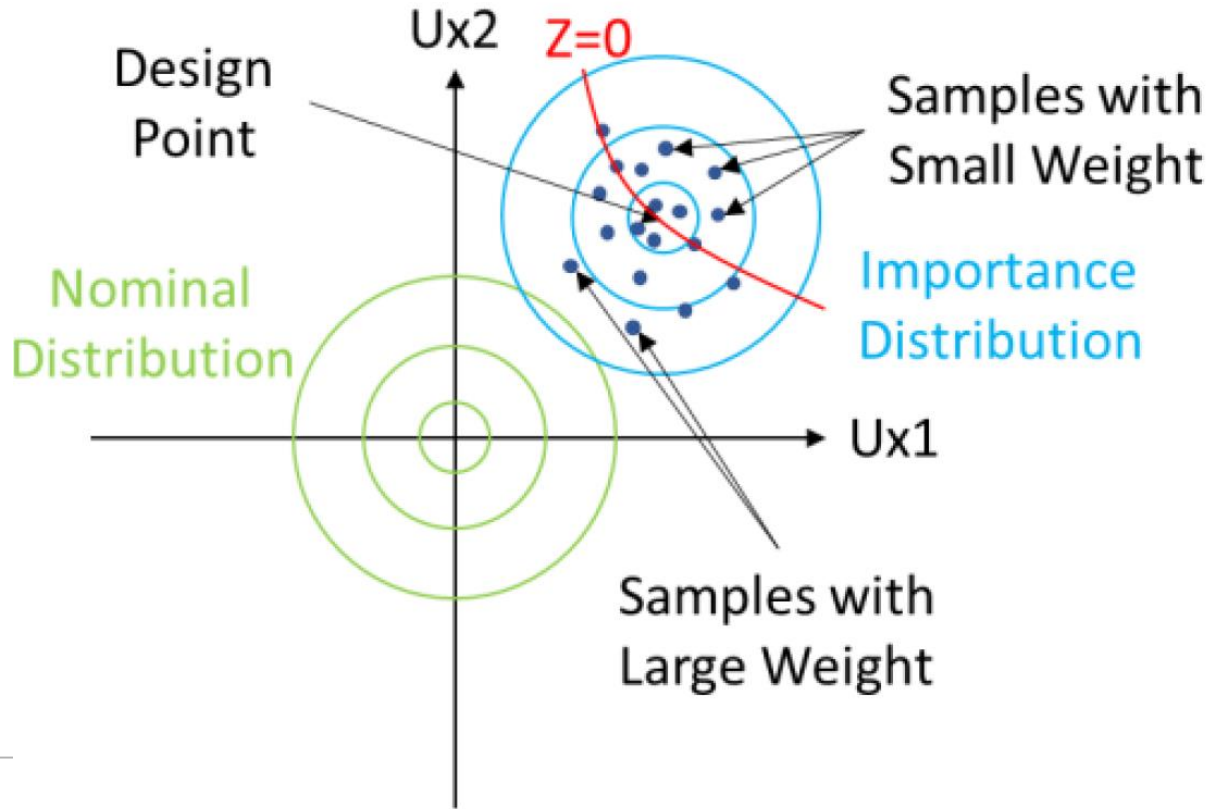
# Probabilistische berekening: Monte Carlo



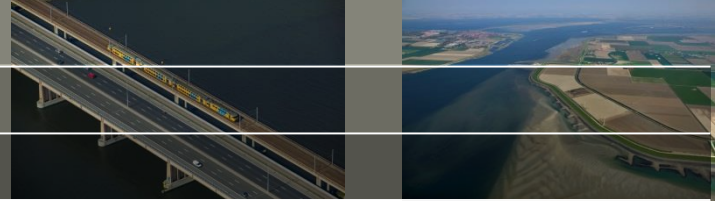
# Probabilistische berekening: Monte Carlo



# Probabilistische berekening: MCIS

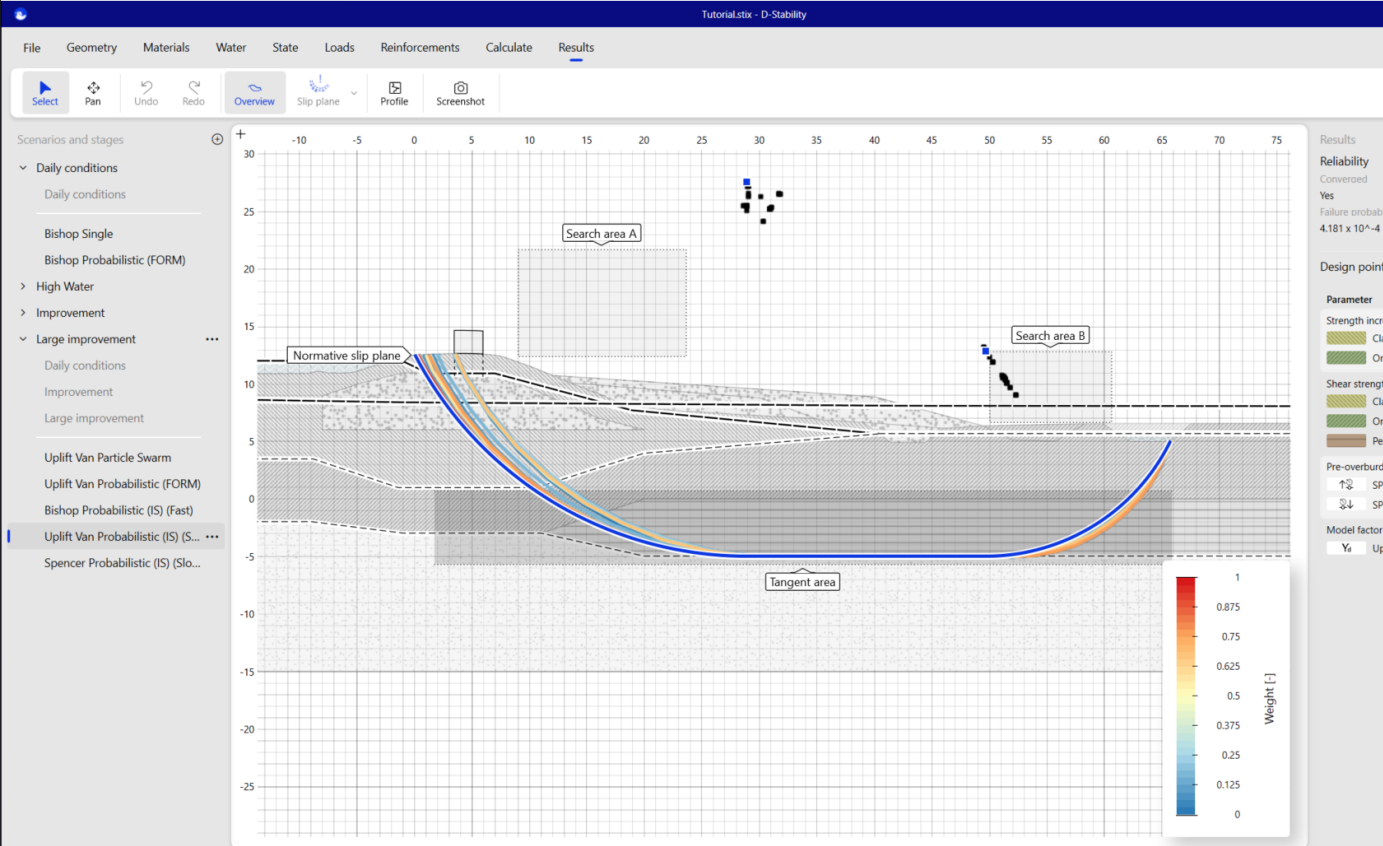
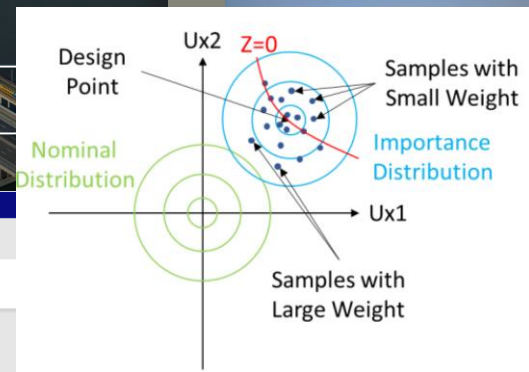


# FORM



Toon de FORM workflow in D-Stability via tutorial “High Water”

# Probabilistische berekening: MCIS



Results

Reliability

Converged

Yes 3.341 [-]

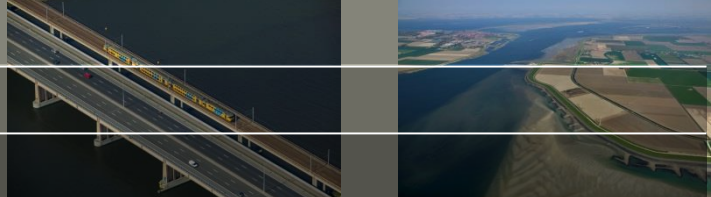
Failure probability

$4.181 \times 10^{-4}$  [-]

Design point ...

Parameter	Alpha	Physical value
Strength increase exponent (m)		
Clay, shallow	0.305	0.925
Organic clay	0.028	0.897
Shear strength ratio (S)		
Clay, shallow	0.305	0.250
Organic clay	0.173	0.268
Peat, deep	0.884	0.218
Pre-overburden pressure (POP)		
↑ SP 2	0.055	14.007
↓ SP 2	0.055	14.007
Model factor		
Ye Uplift Van Probabilistic...	-0.304	1.084

# Voordelen MCIS



- Als gebruiker hoef je niet voor ieder mogelijk glijvlak een conditionele faalkans te bepalen. Eén goede berekening per fragility punt voldoet
  - Een gezamenlijke faalkans wanneer meerdere glijvlakken hier een bijdrage aan leveren
- Minder arbeidsintensief, meer reken-intensief.
- Andere inzichten




# Wanneer beschikbaar?

- MCIS is al beschikbaar sinds versie 2023.01
- Safety overview (kleurtjes) beschikbaar in versie 2023.02 (snel!)

Vragen?

Result threshold



1.053

Range (1.004 - 2.000)

Probabilistic (FORM)  
Bishop  
Bishop Probabilistic (FORM)  
High Water  
Bishop Brute Force (MCIS)  
Bishop Brute Force Small Grid  
Spencer  
Spencer Genetic  
Bishop Design Values

