



# Voorbeeldcasus faalkansanalyse macrostabiliteit

K&I café actuele sterkte

# Faalkansanalyse in 7 stappen

- **Stap 1:** Opstellen van een (semi-probabilistische) basissom
- **Stap 2:** Gevoeligheidsanalyses
- **Stap 3:** Modelleren onzekerheden sterkte en belasting (invoer)
- **Stap 4:** Berekenen fragility points en controleren resultaten.
- **Stap 5:** Opstellen van de fragility curve
- **Stap 6:** Berekenen totale faalkans
- **Stap 7:** Beoordeling, duiding, en verificatie

# Faalkansanalyse in 7 stappen

- **Stap 1:** Opstellen van een (semi-probabilistische) basissom
- **Stap 2:** Gevoeligheidsanalyses
- **Stap 3:** Modelleren onzekerheden sterkte en belasting (invoer)
- **Stap 4:** Berekenen fragility points en controleren resultaten.
- **Stap 5:** Opstellen van de fragility curve
- **Stap 6:** Berekenen totale faalkans
- **Stap 7:** Beoordeling, duiding, en verificatie



Verkennde berekeningen  
en inventarisatie

Probabilistische  
rekenwerk

Interpretatie: wat  
betekenen de getallen?

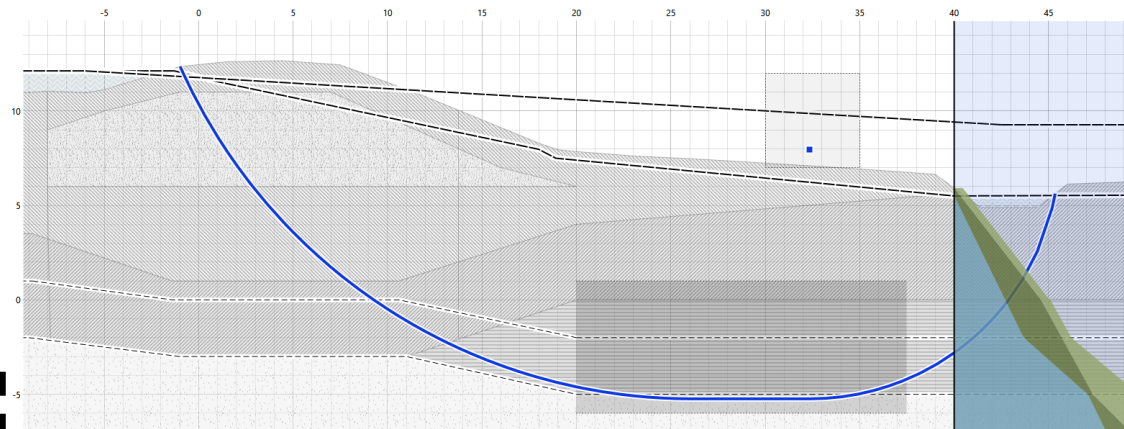
# Stap 1: Opstellen van een (semi-probabilistische) basissom

- Maximale overstromingskans: 1/10.000 per jaar.
- Faalkansbudget (0,04) en lengte-effect (16):  
→ faalkanseis STBI:  $2,5 \times 10^{-7} \text{ jaar}^{-1} = 1/4.000.000$  per jaar voor STBI

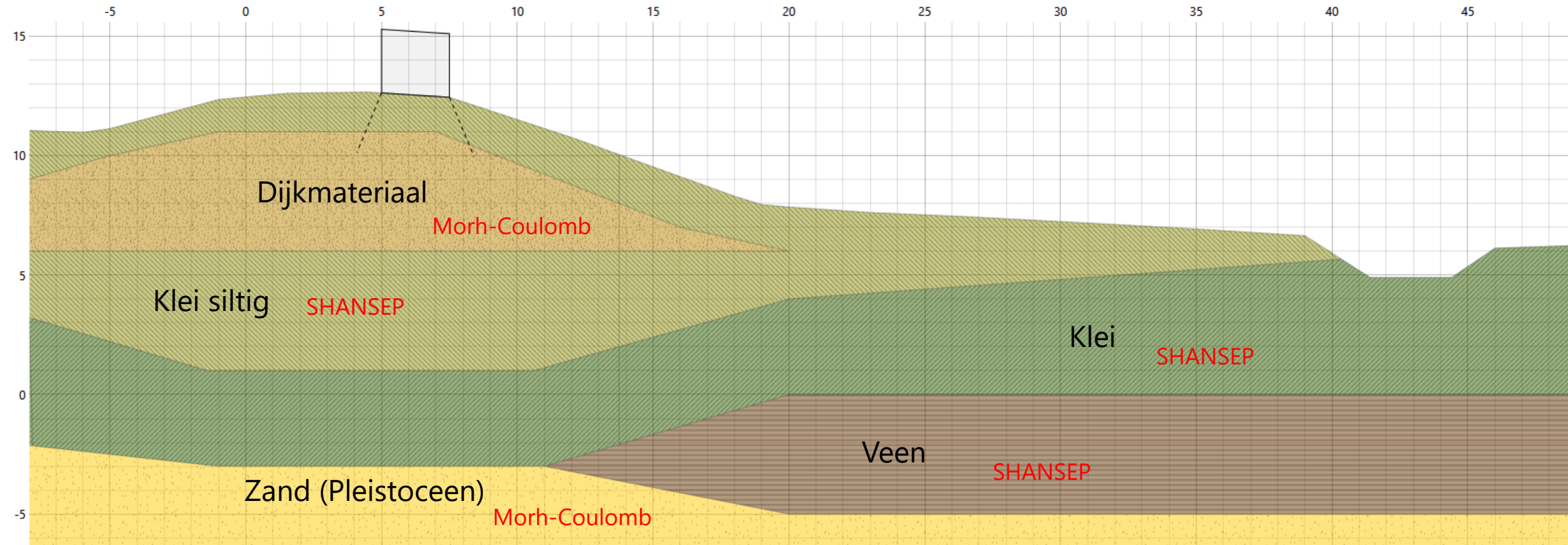
$$\beta = \Phi^{-1}(1 - 2,5 \times 10^{-7}) = 5,0$$

- Kallibratieformule → stabiliteitsfactor 1,16
- Uplift-Van modelfactor = 1,06

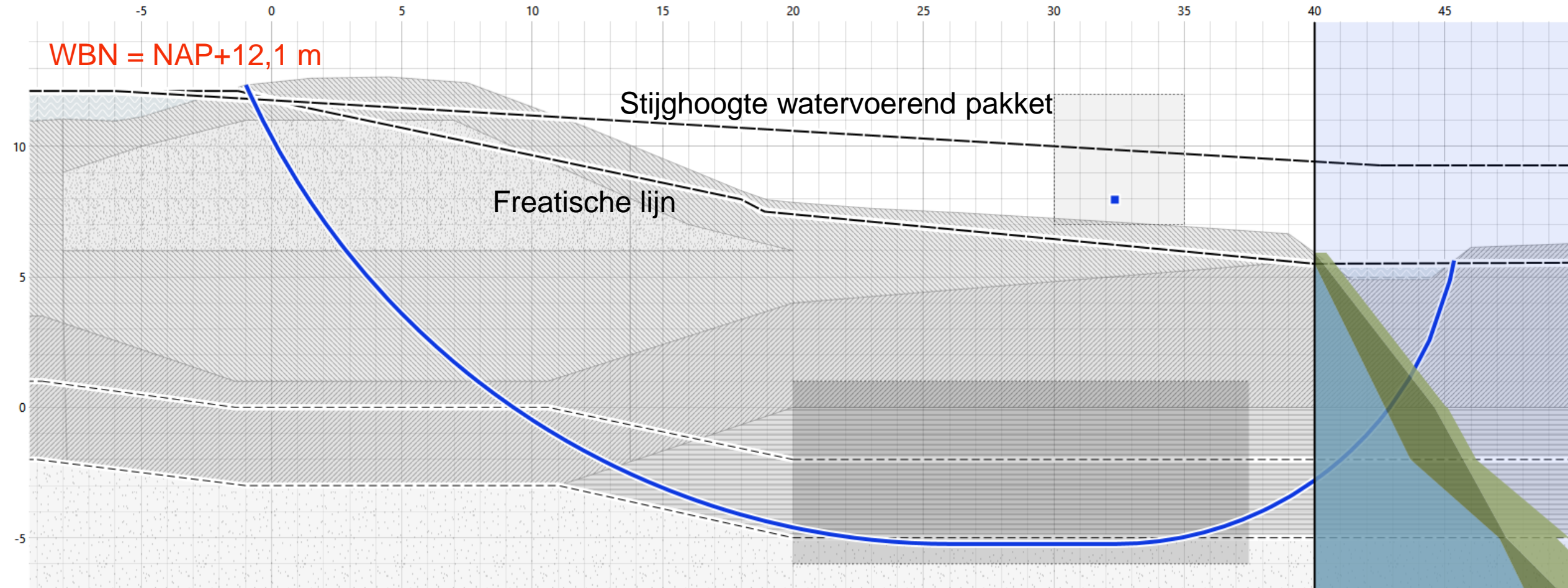
$$\text{Semi-probabilistische stabiliteitseis} = 1,16 \times 1,06 = 1,23$$



# Stap 1: Opstellen van een (semi-probabilistische) basissom



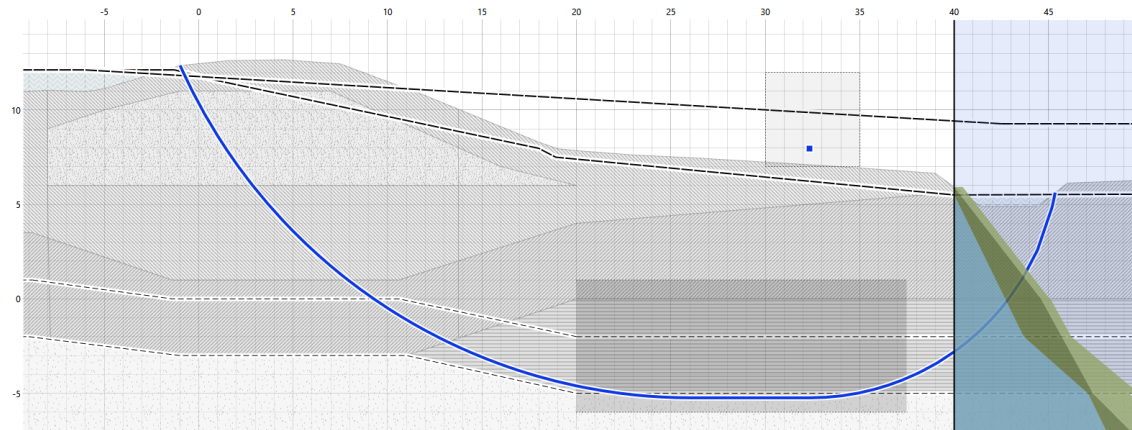
# Stap 1: Opstellen van een (semi-probabilistische) basissom



# Stap 1: Opstellen van een (semi-probabilistische) basissom

Semi-probabilistische stabiliteitsfactor = 0,96 ( $\beta = 3,2$ )

≠ 1,23



# Faalkansanalyse in 7 stappen

- **Stap 1:** Opstellen van een (semi-probabilistische) basissom
- **Stap 2:** Gevoeligheidsanalyses
- **Stap 3:** Modelleren onzekerheden sterkte en belasting (invoer)
- **Stap 4:** Berekenen fragility points en controleren resultaten.
- **Stap 5:** Opstellen van de fragility curve
- **Stap 6:** Berekenen totale faalkans
- **Stap 7:** Beoordeling, duiding, en verificatie

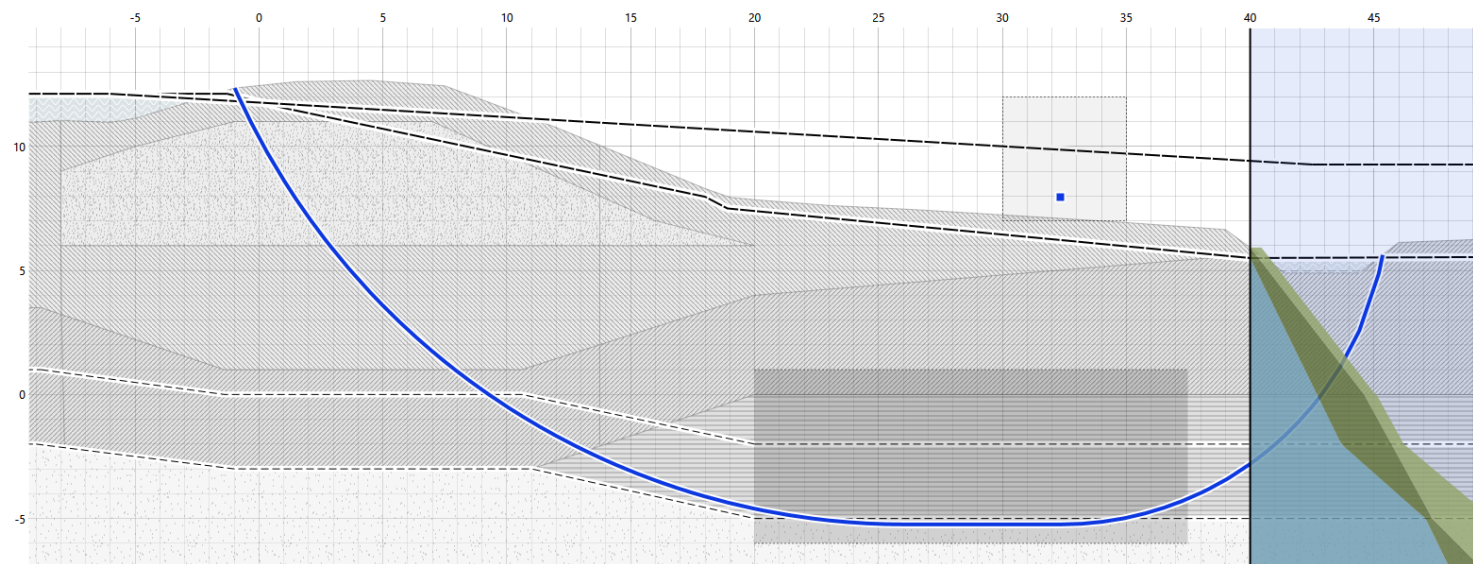


## Stap 2: Gevoeligheidsanalyses

- Rekenen met semi-probabilistische som
- Kijken naar de gevoeligheid van de volgende parameters:
  - Sterkteparameters grond
  - Buitenwaterstand
  - Verkeersbelasting

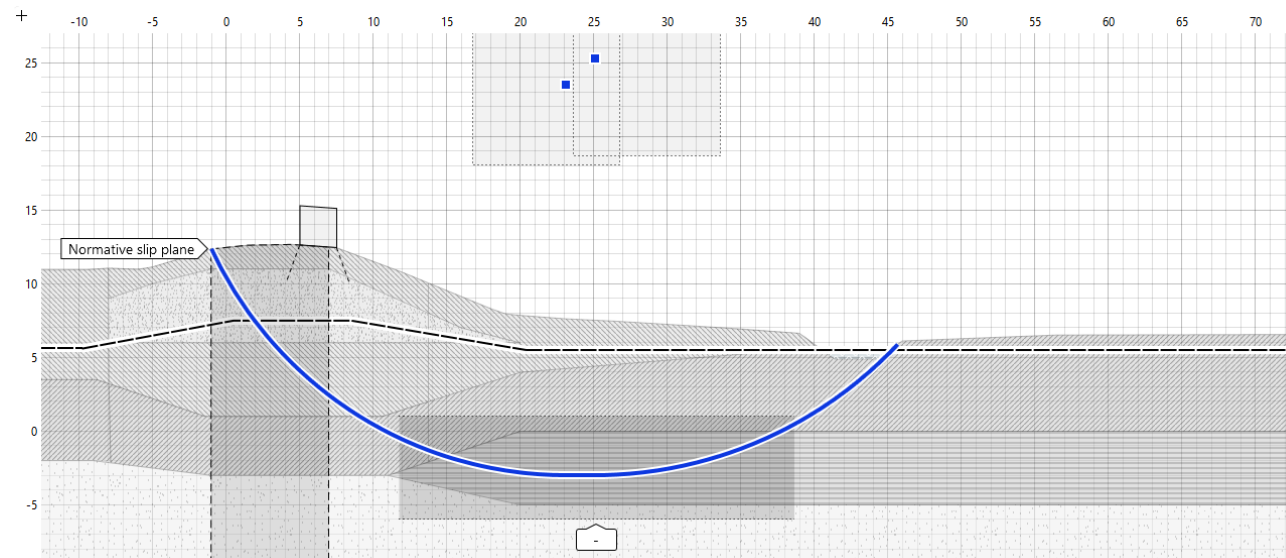
# Stap 2: Gevoeligheidsanalyses

#	Grondparameters	Buitenwaterstand [m+NAP]	Verkeersbelasting [kPa]	Stabiliteitsfactor [-]
1	Rekenwaarden	12,12 (WBN)	13,3	0,96
2				
3				
4				
5				
6				



# Stap 2: Gevoeligheidsanalyses

#	Grondparameters	Buitenwaterstand [m+NAP]	Verkeersbelasting [kPa]	Stabiliteitsfactor [-]
1	Rekenwaarden	12,12 (WBN)	13,3	0,96
2	Rekenwaarden	5,50 (dagelijks)	13,3	1,18
3				
4				
5				
6				





## Stap 2: Gevoeligheidsanalyses

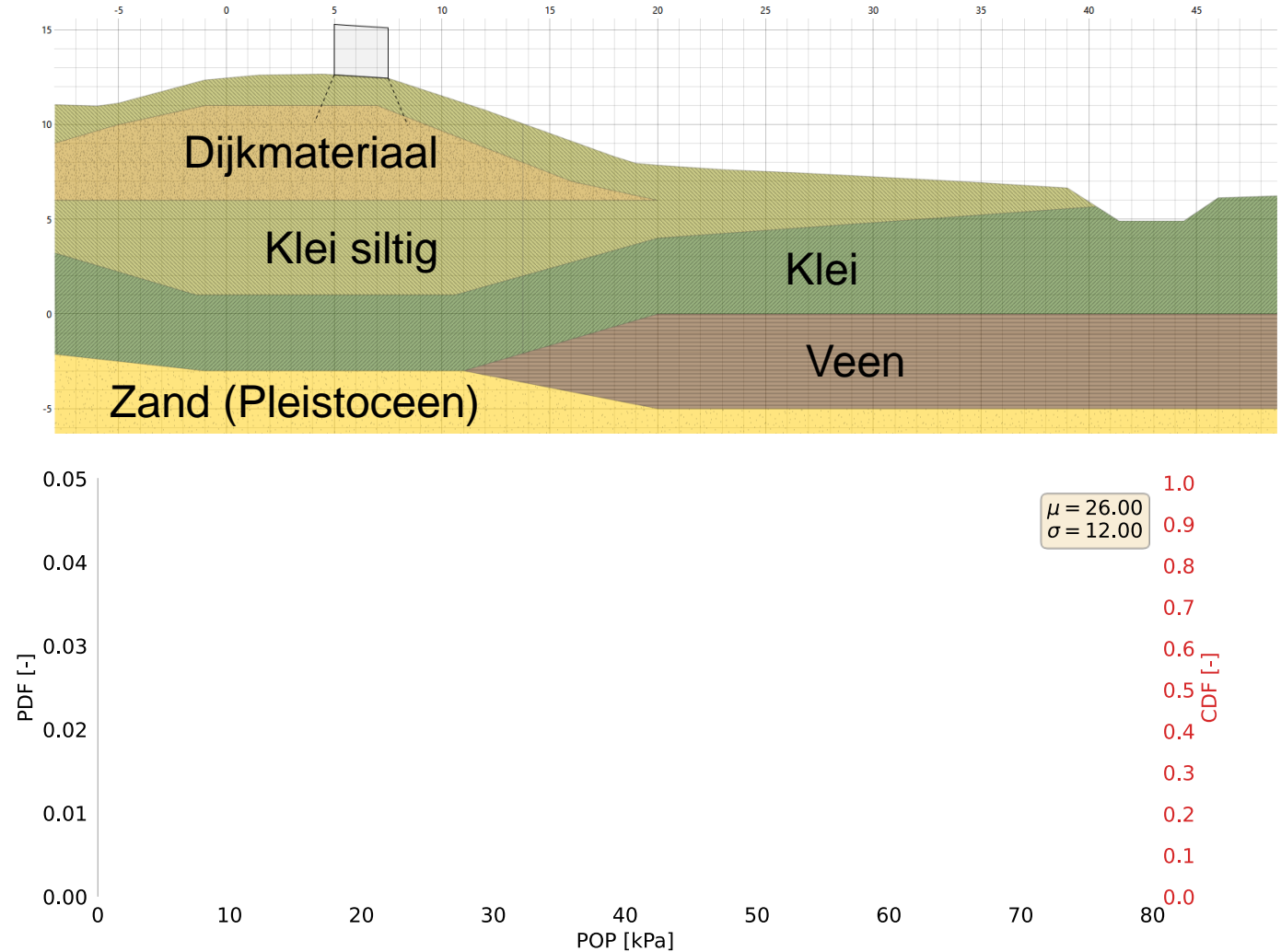
#	Grondparameters	Buitenwaterstand [m+NAP]	Verkeersbelasting [kPa]	Stabiliteitsfactor [-]
1	Rekenwaarden	12,12 (WBN)	13,3	0,96
2	Rekenwaarden	5,50 (dagelijks)	13,3	1,18
3	Gemiddelde waarden	12,12 (WBN)	13,3	1,31
4	Gemiddelde waarden	5,50 (dagelijks)	13,3	1,69
5	Rekenwaarden	12,12 (WBN)	0	0,98
6	Rekenwaarden, ondiep glijvlak geforceerd	12,12 (WBN)	13,3	1,10

# Faalkansanalyse in 7 stappen

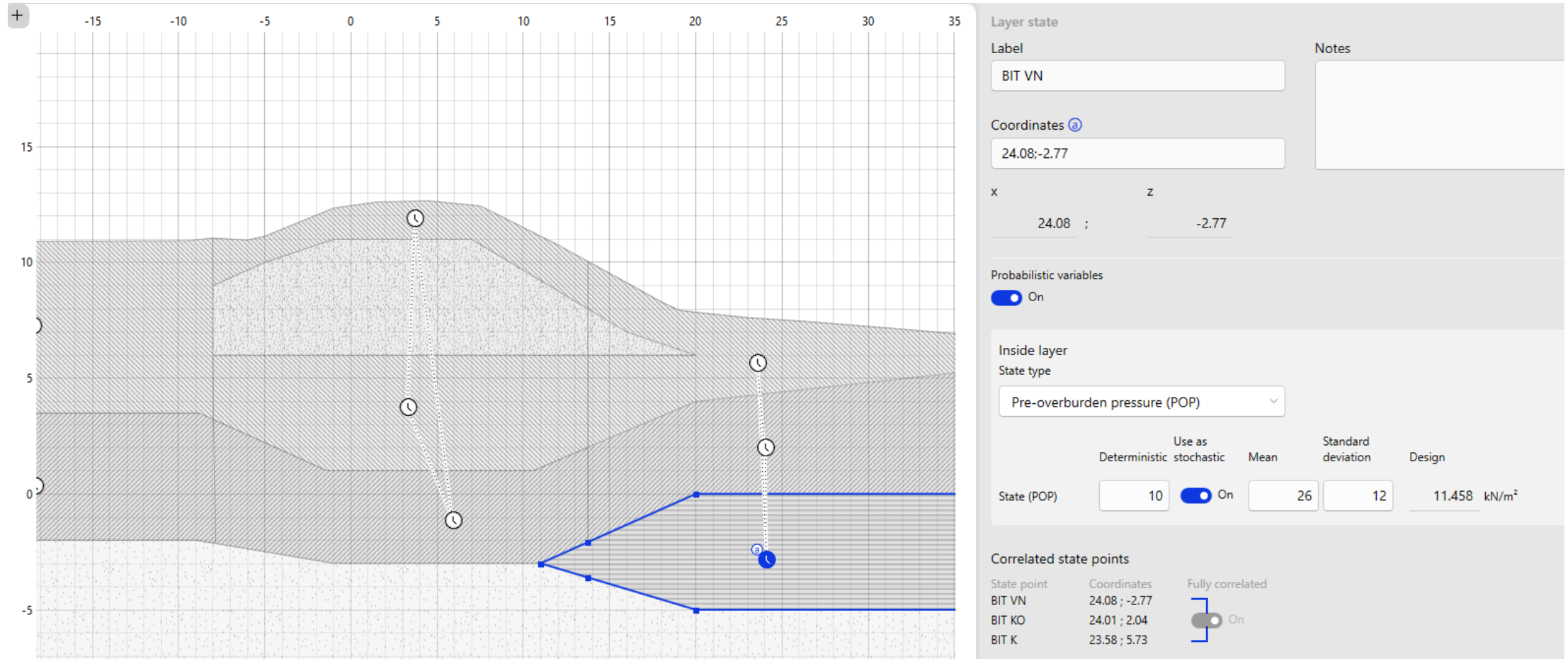
- **Stap 1:** Opstellen van een (semi-probabilistische) basissom
- **Stap 2:** Gevoeligheidsanalyses
- **Stap 3:** Modelleren onzekerheden sterkte en belasting (invoer)
- **Stap 4:** Berekenen fragility points en controleren resultaten.
- **Stap 5:** Opstellen van de fragility curve
- **Stap 6:** Berekenen totale faalkans
- **Stap 7:** Beoordeling, duiding, en verificatie

# Stap 3: Modelleren onzekerheden sterkte en belasting

- Grondparameters
  - Zand ( $\varphi$ )
  - Dijkmateriaal ( $\varphi$ )
  - Klei ( $s, m, POP$ )
  - Klei siltig ( $s, m, POP$ )
  - Veen ( $s, m, POP$ )
- Modelonzekerheid (Uplift-Van)
- Buitenwaterstand



# Stap 3: Modelleren onzekerheden sterkte en belasting





# Stap 3: Modelleren onzekerheden sterkte en belasting

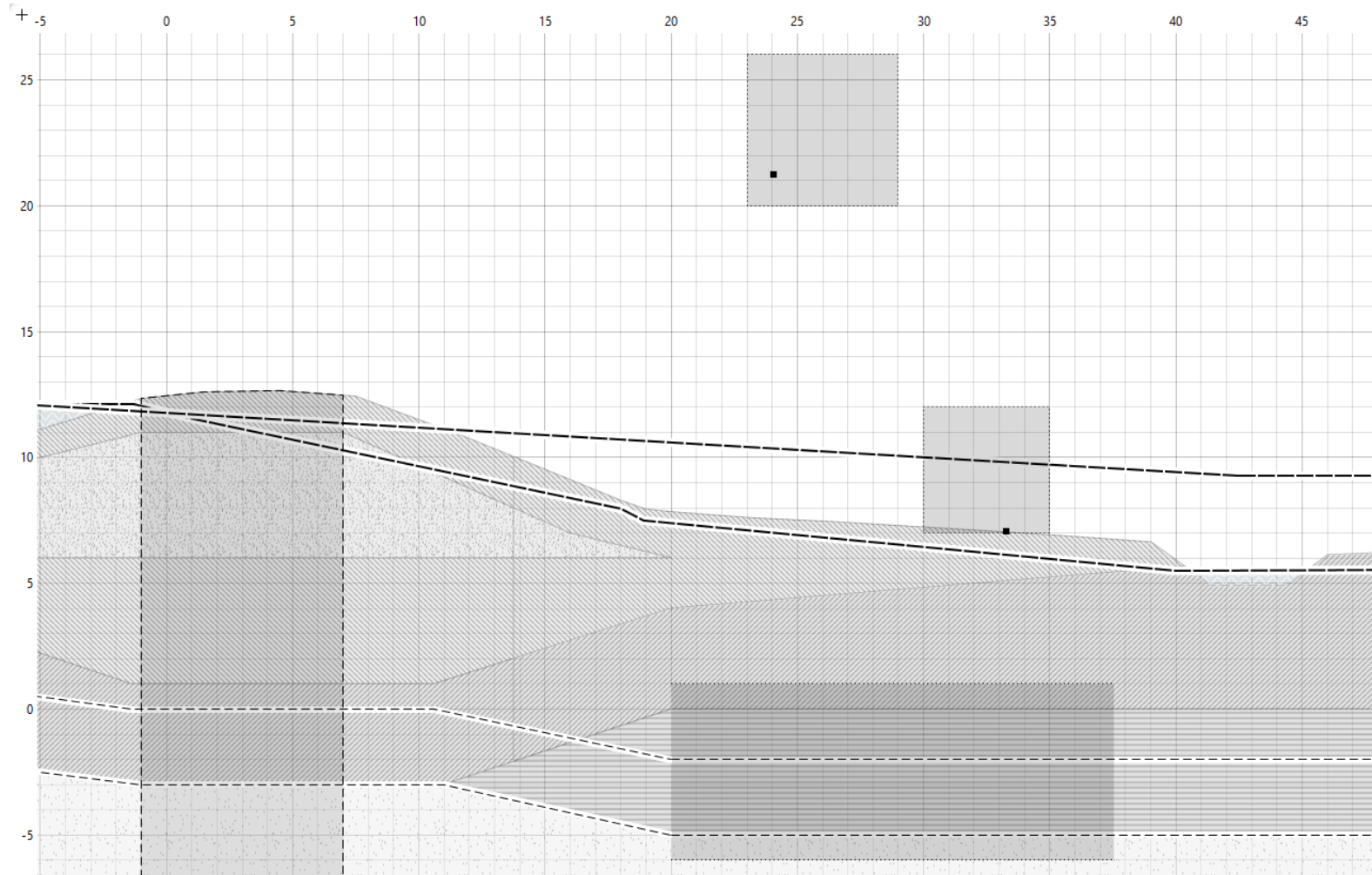
- Grondparameters
  - Zand ( $\varphi$ )
  - Dijkmateriaal ( $\varphi$ )
  - Klei ( $s, m, POP$ )
  - Klei siltig ( $s, m, POP$ )
  - Veen ( $s, m, POP$ )
- Modelonzekerheid (Uplift-Van)
  - $\mu = 1,005$
  - $\sigma = 0,033$
- Buitenwaterstand

Terugkeertijd [jaar]	Waterstand [m+NAP]
10	9,47
100	10,84
10.000	12,12
100.000	12,58

# Faalkansanalyse in 7 stappen

- **Stap 1:** Opstellen van een (semi-probabilistische) basissom
- **Stap 2:** Gevoeligheidsanalyses
- **Stap 3:** Modelleren onzekerheden sterkte en belasting (invoer)
- **Stap 4:** Berekenen fragility points en controleren resultaten.
- **Stap 5:** Opstellen van de fragility curve
- **Stap 6:** Berekenen totale faalkans
- **Stap 7:** Beoordeling, duiding, en verificatie

# Stap 4: Berekenen fragility points en controleren resultaten



**Settings**

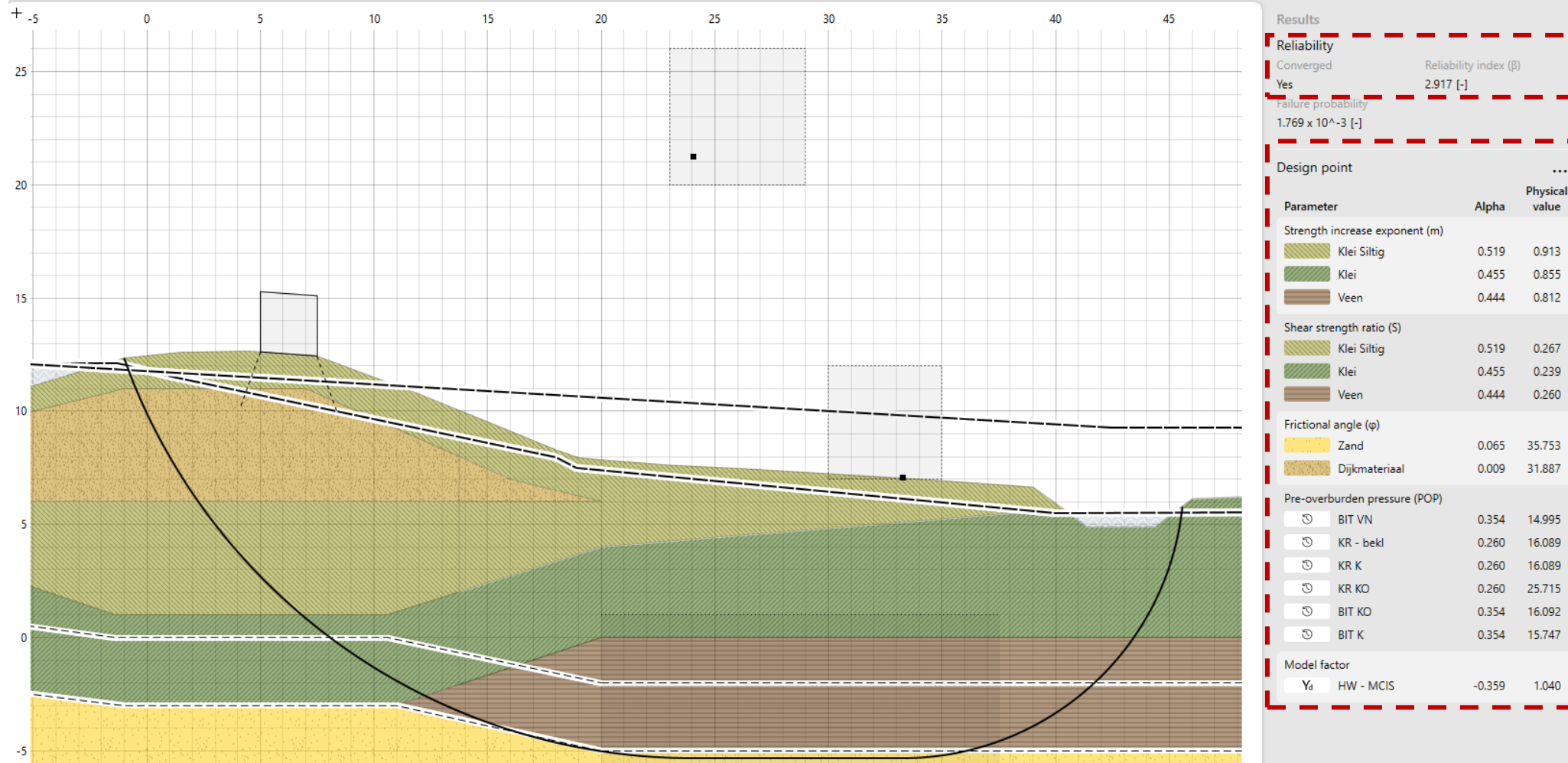
**Calculation**

- Deterministic  
Calculate using default deterministic values.  
Estimated duration: under 5 min.
- Mean  
Calculate using mean values of the probabilistic distributions.  
Estimated duration: under 5 min.
- Design  
Calculate using the lower 0.05 percentiles of the probabilistic distributions.  
Estimated duration: under 5 min.
- Probabilistic  
Run a probabilistic Monte Carlo Importance Sampling analysis for a fixed water level.  
Estimated duration: 30 min-8 hrs.

Default deterministic values will be used for materials for which no probabilistic values are defined.

	Mean	Standard deviation
Model factor	1.005	0.033 [-]

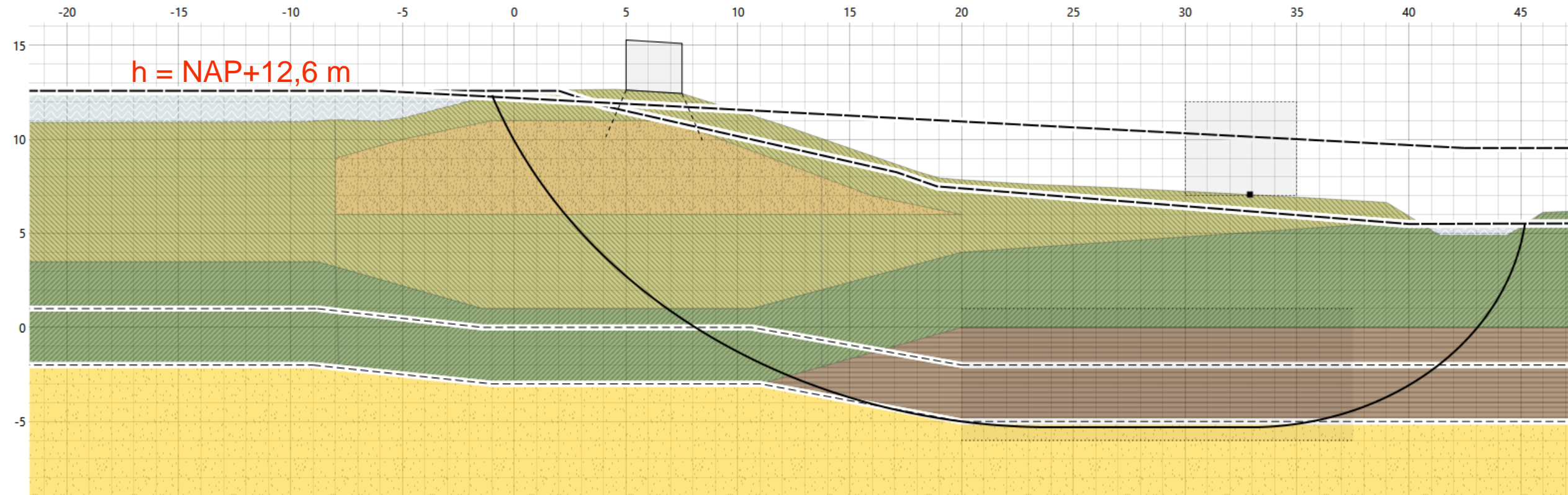
# Stap 4: Berekenen fragility points en controleren resultaten



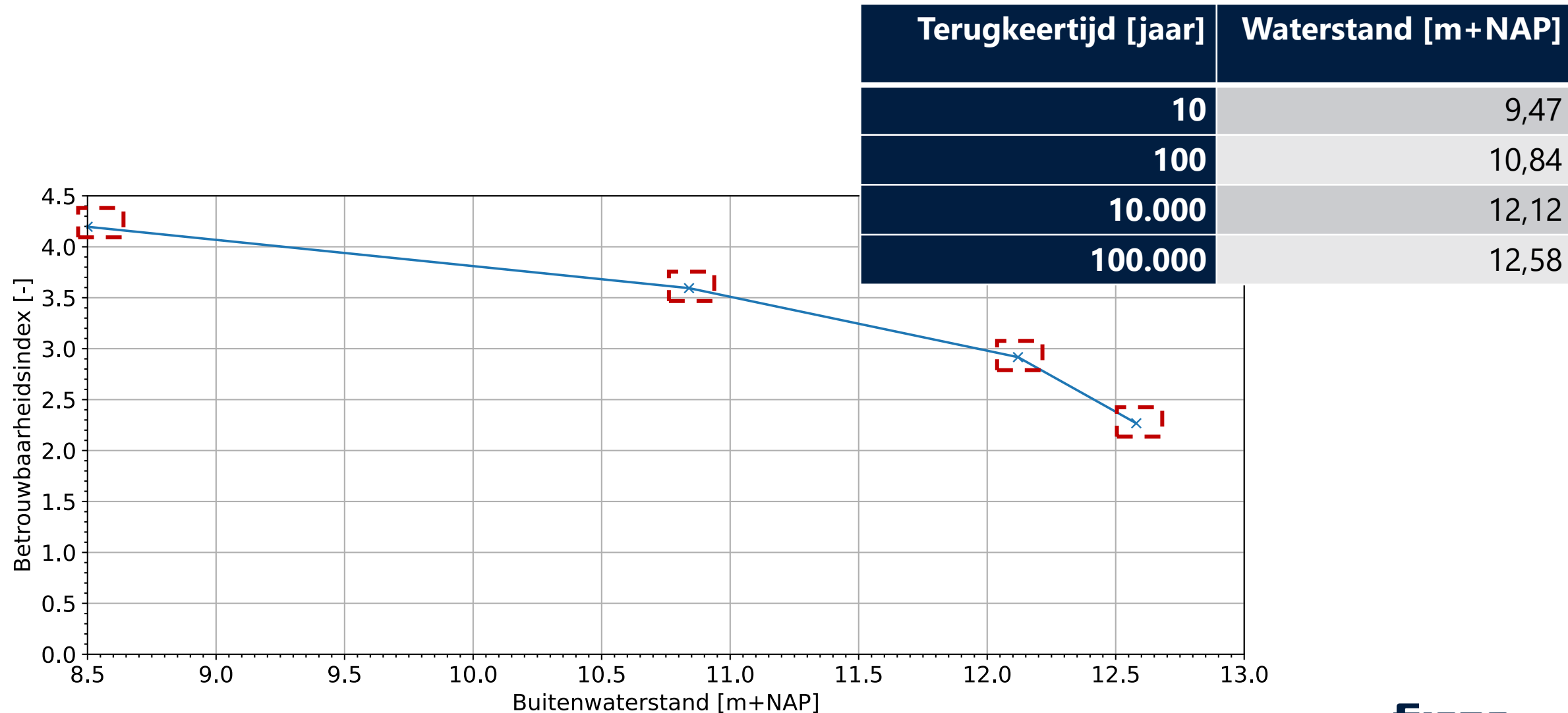
# Faalkansanalyse in 7 stappen

- **Stap 1:** Opstellen van een (semi-probabilistische) basissom
- **Stap 2:** Gevoeligheidsanalyses
- **Stap 3:** Modelleren onzekerheden sterkte en belasting (invoer)
- **Stap 4:** Berekenen fragility points en controleren resultaten.
- **Stap 5:** Opstellen van de fragility curve
- **Stap 6:** Berekenen totale faalkans
- **Stap 7:** Beoordeling, duiding, en verificatie

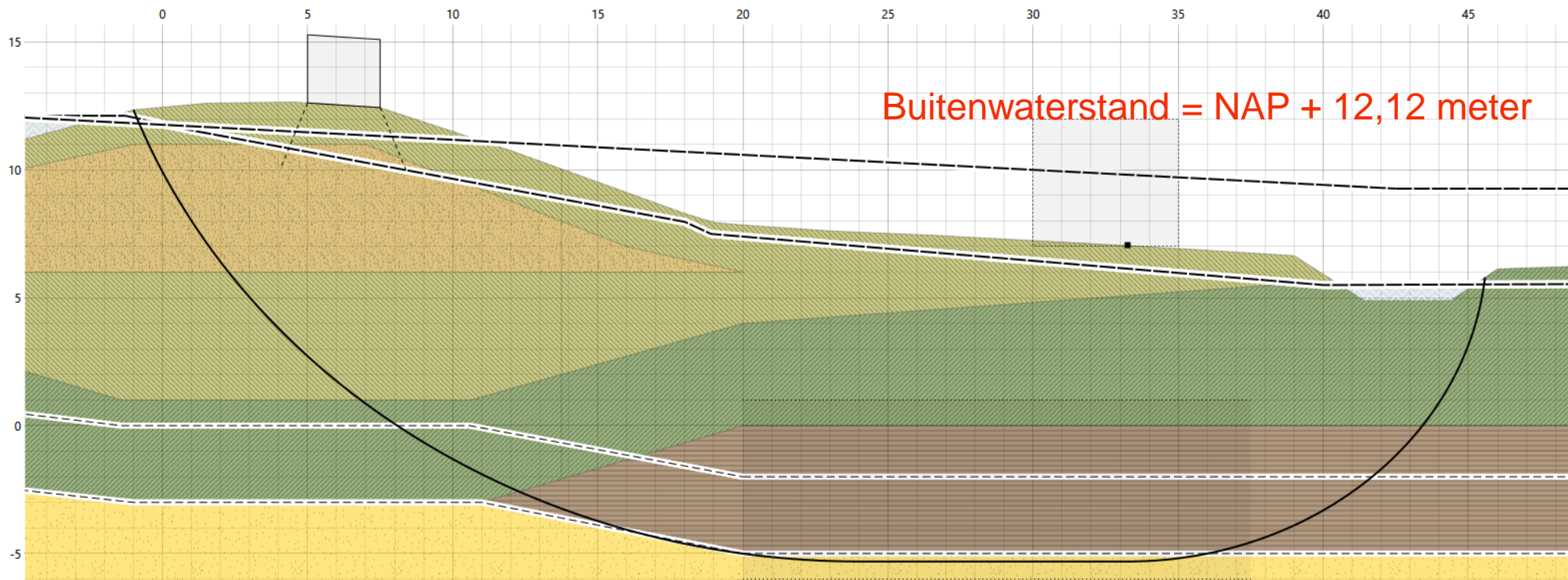
# Stap 5: Opstellen van de fragility curve



# Stap 5: Opstellen van de fragility curve



# Stap 5: O



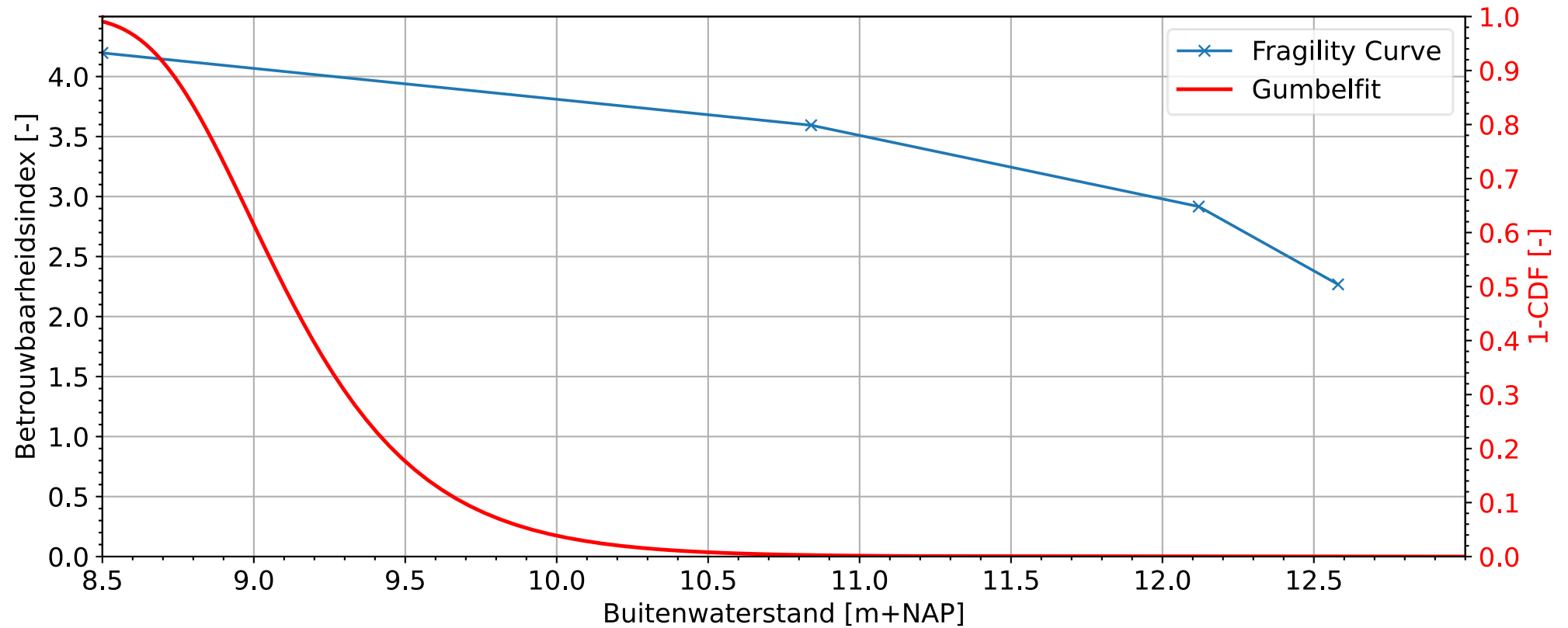
<b>Kier (S,m)</b>	0,45	0,59	0,46	0,40
<b>Veen (S,m)</b>	0,65	0,64	0,44	0,45
<b>Zand (<math>\varphi</math>)</b>	-0,02	0,03	0,07	0,05
<b>Dijkmateriaal (<math>\varphi</math>)</b>	0,12	0,06	0,01	-0,03*
<b>POP teen</b>	0,37	0,38	0,35	0,38
<b>POP kruin</b>	0,17	0,22	0,26	0,28
<b>Modelonzekerheid Uplift-Van</b>	-0,24	-0,30	-0,36	-0,33



# Faalkansanalyse in 7 stappen

- **Stap 1:** Opstellen van een (semi-probabilistische) basissom
- **Stap 2:** Gevoeligheidsanalyses
- **Stap 3:** Modelleren onzekerheden sterkte en belasting (invoer)
- **Stap 4:** Berekenen fragility points en controleren resultaten.
- **Stap 5:** Opstellen van de fragility curve
- **Stap 6:** Berekenen totale faalkans
- **Stap 7:** Beoordeling, duiding, en verificatie

# Stap 6: Berekenen totale faalkans



# Stap 6: Berekenen totale faalkans

The screenshot displays the Probabilistic Toolkit application window. The 'File' menu is open, showing options such as 'New', 'New from', 'Open', 'Save', 'Save as', and 'Exit'. The 'New from' submenu is expanded, highlighting 'External fragility curve'. The 'Logging' section is visible, with 'Log realizations' checked and 'Warning' selected in the logging level dropdown. The 'Pre and Post Processing' section shows empty fields for 'Pre processor' and 'Post processor'. The 'Result' section on the right has 'Single run' selected.

Probabilistic Toolkit

File Edit View Calculation Tools Help

New Ctrl+N

New from

Open Ctrl+O

Save Ctrl+S

Save as F12

C:\Users\k.hermann\OneDrive - Fugro\Handreiking Actuele Sterkte - voorbeeld\Rekenbestanden\_v0.1\MC 120K.tlx

C:\Users\k.hermann\OneDrive - Fugro\Handreiking Actuele Sterkte - voorbeeld\Files\Monte-Carlo\MC 120K.tlx

C:\Users\k.hermann\OneDrive - Fugro\Handreiking Actuele Sterkte - voorbeeld\Rekenbestanden\_v0.1\Integratie\_FC\_Overslag.tlx

C:\Users\k.hermann\OneDrive - Fugro\Handreiking Actuele Sterkte - voorbeeld\Rekenbestanden\_v0.1\Integratie\_FC\_Gumbel.tlx

Exit Alt+F4

Warning

Recalculate realizations

Model input file

External fragility curve

Batch file

Result

Single run

Table

Search

Response surface

Recalculate realizations

Max parallel runs 1

Logging

Log realizations

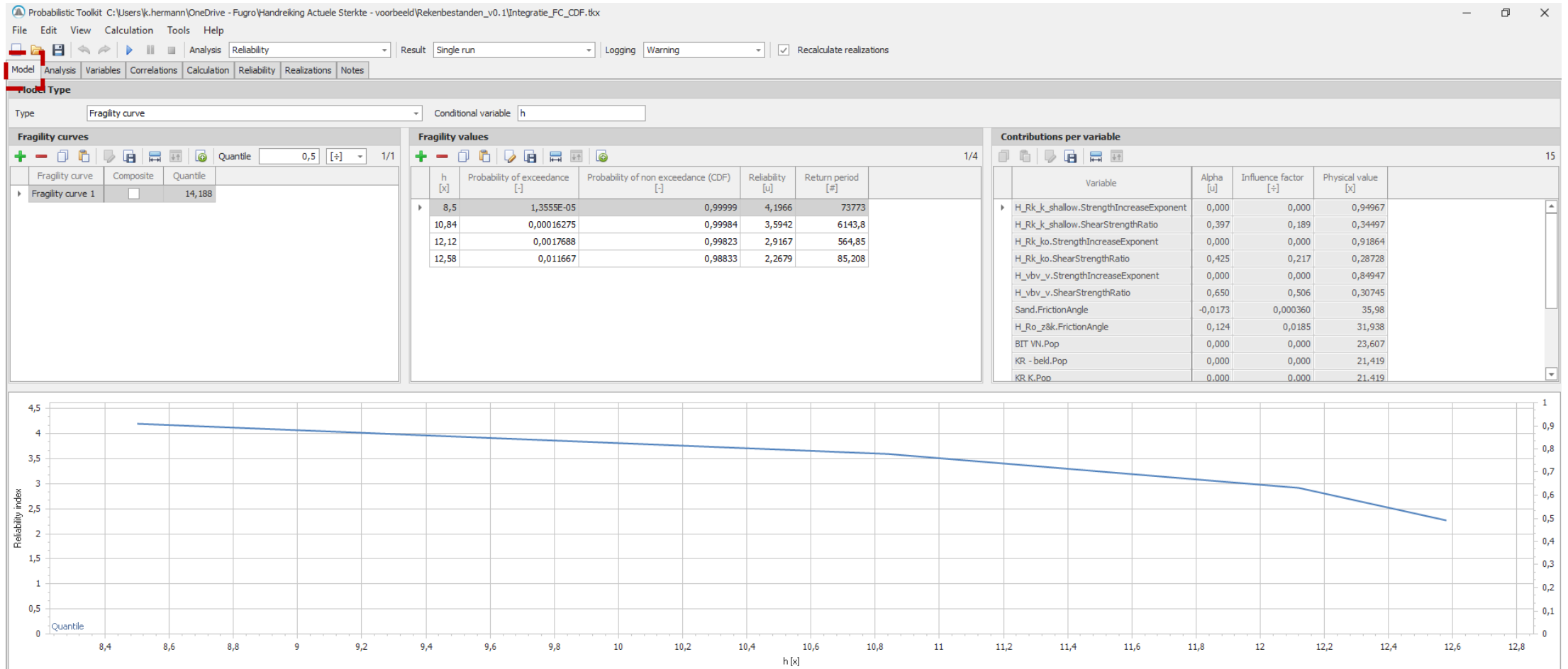
Logging Warning

Pre and Post Processing

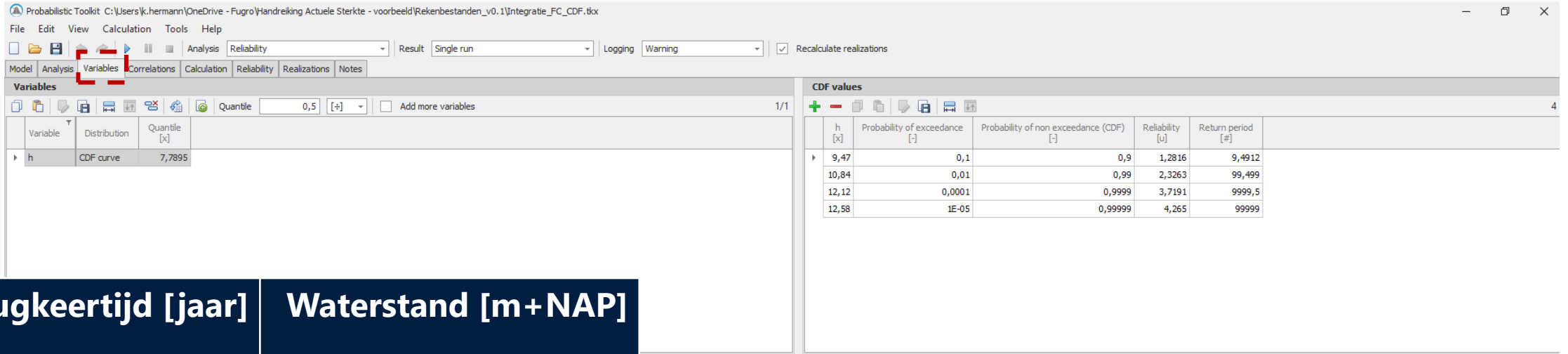
Pre processor

Post processor

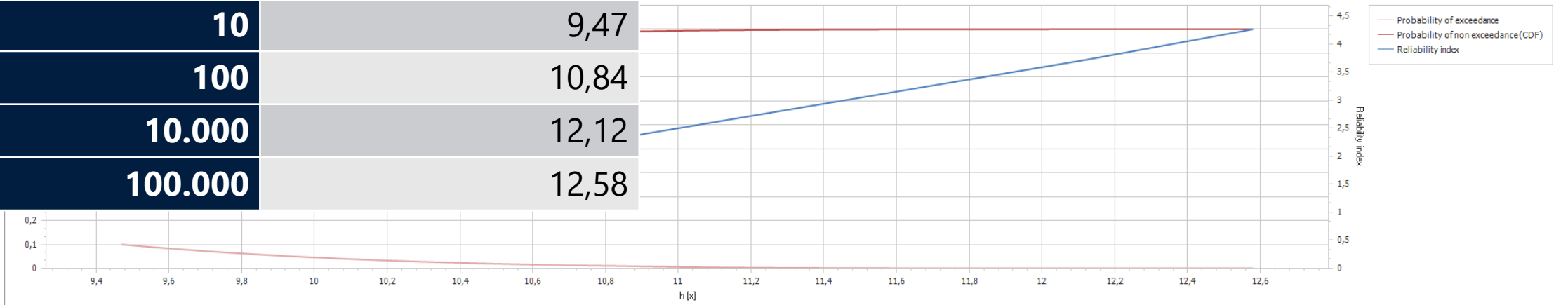
# Stap 6: Berekenen totale faalkans



# Stap 6: Berekenen totale faalkans



Terugkeertijd [jaar]	Waterstand [m+NAP]
10	9,47
100	10,84
10.000	12,12
100.000	12,58



# Stap 6: Berekenen totale faalkans

Probabilistic Toolkit C:\Users\k.hermann\OneDrive - Fugro\Handreiking Actuele Sterkte - voorbeeld\Rekenbestanden\_v0.1\Integratie\_FC\_CDF.tkx

File Edit View Calculation Tools Help

Analysis Reliability Result Single run Logging Warning

Model Analysis Variables Correlations Calculation Reliability Realizations Notes

**Consider realizations as failing if**

1/1

Variable	Compared with	Type	Critical variable
Fragility curve 1	Integrate over	Variable	h

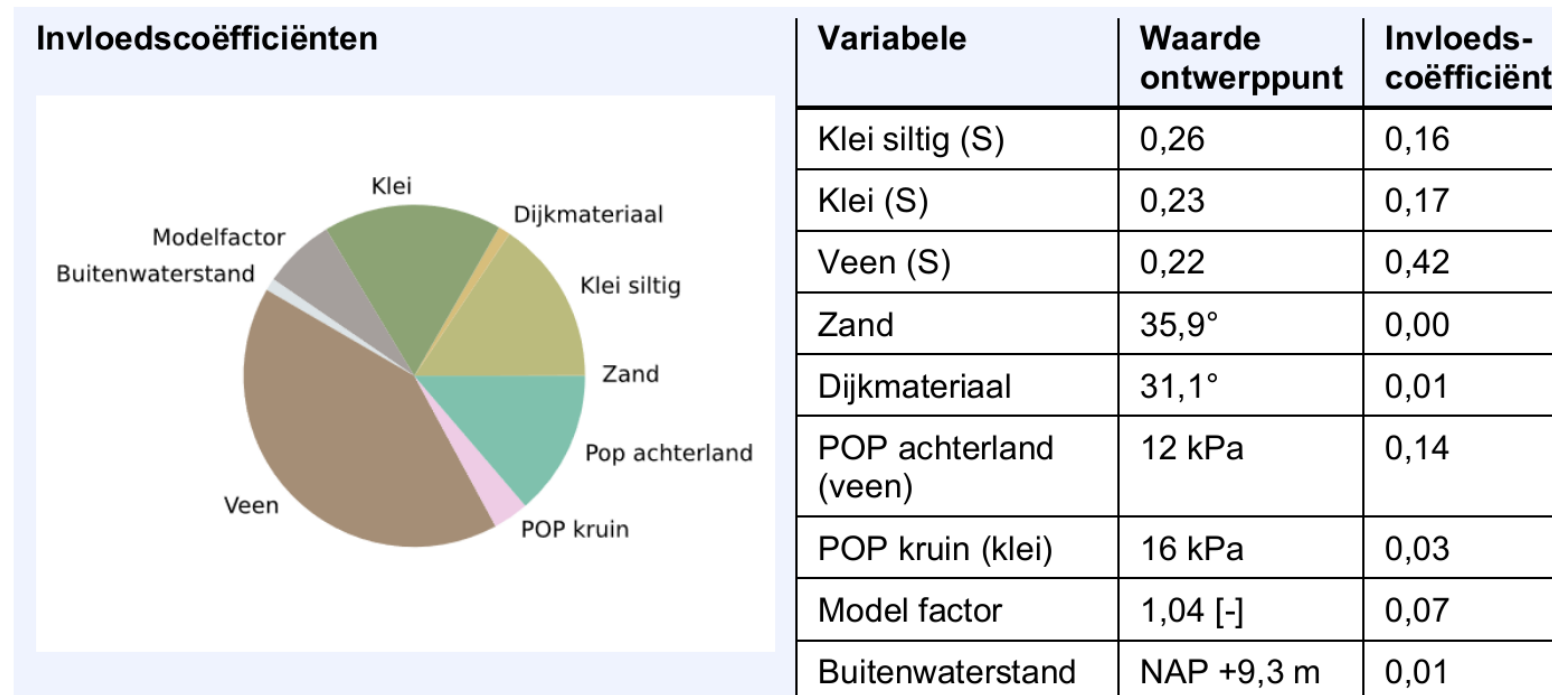
Integratie  $\rightarrow \beta = 4,1$

# Faalkansanalyse in 7 stappen

- **Stap 1:** Opstellen van een (semi-probabilistische) basissom
- **Stap 2:** Gevoeligheidsanalyses
- **Stap 3:** Modelleren onzekerheden sterkte en belasting (invoer)
- **Stap 4:** Berekenen fragility points en controleren resultaten.
- **Stap 5:** Opstellen van de fragility curve
- **Stap 6:** Berekenen totale faalkans
- **Stap 7:** Beoordeling, duiding, en verificatie

# Stap 7: Beoordeling, duiding, en verificatie

- $\beta = 4,1$  (1/50.000 per jaar)  $\neq 5,0$  (1/4.000.000 per jaar)
- Wel duidelijke verbetering t.o.v.  $\beta = 3,2$  → andere schaal versterkingsmaatregel of aanvullend onderzoek





# Handreiking Faalkansanalyse Macrostabieliteit

- [www.hwbp.nl/wiki](http://www.hwbp.nl/wiki)

## 6.4 Omgang met scenario's

In dit onderdeel van het voorbeeld beschouwen we de impact van een alternatief (ondergrond)scenario, aanvullend op het basisscenario uit sectie 6.2. We stellen dat uit een stochastisch ondergrondmodel volgt dat er een kans van 5% is dat de geschematiseerde veenlaag 1 meter dikker is, geïllustreerd in Figuur 6.21. Voor dit scenario stellen we eerst de fragility curve op en integreren deze met de waterstand. Pas daarna combineren we de faalkansen van de twee verschillende ondergrondscenario's.

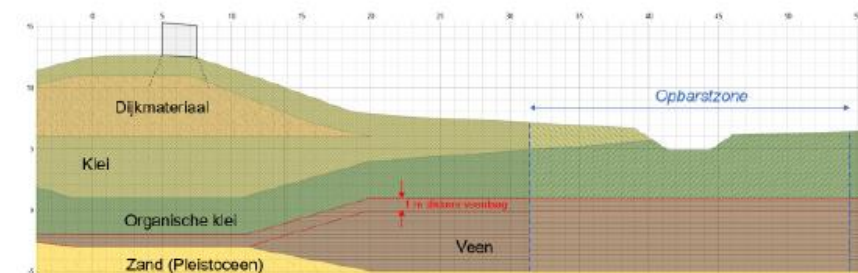
### 6.4.1 Stap 5: Opstellen van de fragility curve

Hoewel bij deklagen dikker dan 4 m in de praktijk geen rekening gehouden wordt met opbarsten en sterkte-reductie van de deklaag, veronderstellen we in dit voorbeeld dat dit het geval is. Op die manier maken we het effect hiervan zichtbaar. Indien de veenlaag dikker is, is de opbarstveiligheid  $n_{opbarstveilig}$ =1,2 bij een buitenwaterstand van NAP+10,80 m.

87 van 105

Handreiking Faalkansanalyse Macrostabieliteit  
1120905 1-007-GEO-0001, 10 oktober 2023, concept

Deltares



Figuur 6.21: schematisering ondergrond met dikker veenlaag en aangenomen opbarstzone (illustratief).

The logo for FUGRO features a large, stylized white letter 'F' on the left. The vertical stem of the 'F' is a long, downward-pointing arrowhead. To the right of the 'F', the word 'FUGRO' is written in a bold, white, sans-serif font.

# FUGRO

Unlocking Insights  
from **Geo-data**