

## Memo

**To**

RWS-WVL

**Date**

2021-10-25 16:09:38

**Our reference**

11206818-030-001

**Number of pages**

10

**Contact person**

Ana Teixeira

**Direct line**

+31 (0)88 335 7214

**E-mail**

ana.teixeira@deltares.nl

**Subject**

Aan de slag met D-Stability en Fragility curves

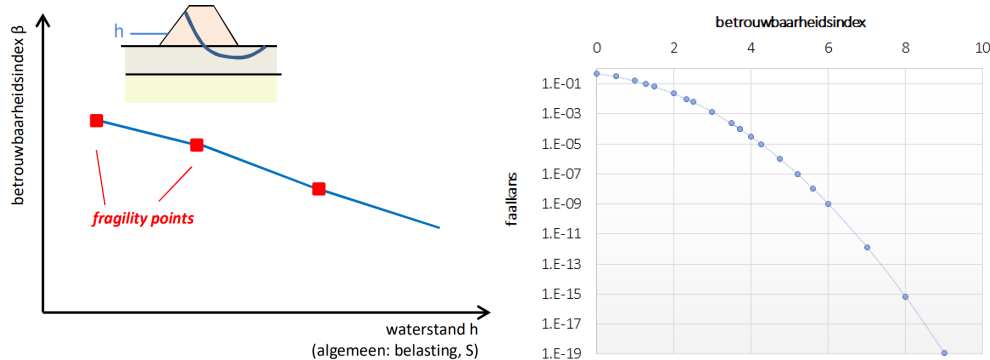
**Copy to**

Raymond van der Meij; Karolina Wojciechowska

Dit document helpt met het bouwen van je eerste macrostabiliteit fragility curve. Bouwen van fragility curves is nodig wanneer je een probabilistische analyse voor macrostabiliteit wilt uitvoeren<sup>1</sup>. Hieronder leggen wij uit de stappen die nodig zijn om een macrostabiliteit fragility curve te bouwen (tutorial) en ook een aantal definities die belangrijk zijn (kaders).


### Kader Fragility curve

Een Fragility Curve geeft de (conditionele) faalkans als functie van de belasting weer. In geval van instabiliteit wordt hiervoor doorgaans de buitenwaterstand gebruikt. Een alternatieve en gebruikelijke weergave is met de betrouwbaarheidsindex op de verticale as in plaats van de faalkans:



Elke fragility point binnen een Fragility Curve (FC) is een D-Stability som ('Stage') met een bepaalde buitenwaterstand en glijcirkle. Hieronder leggen wij stap voor stap uit hoe je een fragility point waarde berekend en dan een FC bereikt.


<sup>1</sup>Handreiking Faalkansanalyses Macrostabiliteit (2017)


 Deze tutorial laat zien hoe je een FC op kan bouwen zonder infiltratie door overslag. Maar voor de berekening van de macrostabiliteit faalkans is het belangrijk om overslag mee te nemen. In praktijk bouwen wij op twee apart FC (met dezelfde stappen), één zonder infiltratie en één met infiltratie door overslag. Wij moeten dus daarna weten bij welke waterstand we uit moeten gaan van een volledig verzadigd dijk - zie laatste kader in dit document voor verder uitleg.


**Stap 1** Download de laatste versie van D-Stability gratis voordat je aan deze tutorial begint.

Heb je hiervoor hulp nodig? Kijk dan in de User's Manual.


Dit geldt ook voor **stap 2 t/m 4**.

 **D-Stability 2021.02**

 **User manual D-Stability 2021.02**

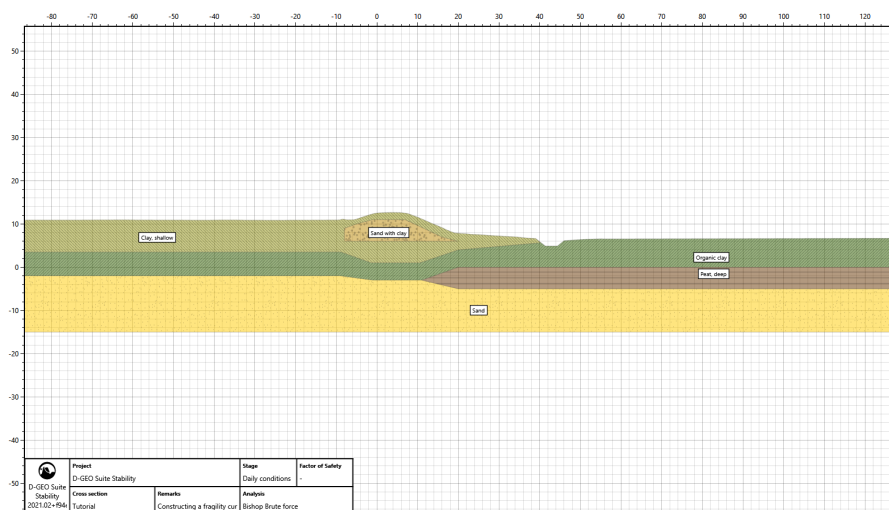
 Download



 Download user manual



**Stap 2** Open D-Stability en maak een dijkprofiel aan, incl. 'Geometry', 'Materials' en 'State'.



Deze tutorial gebruikt de voorbeeld in de User's Manual, i.e. de Tutorial.stix file is op de installatie map<sup>2</sup> te vinden.

<sup>2</sup>C:/Program Files (x86)/Deltares/D-GEO Suite/D-Stability 2021.02

**Stap 3** Definieer stochastische variabelen en correlaties (bij 'Materials' en 'State').

Material

Label: Clay, shallow Fill

Code: H\_Rk\_k\_shallow

Probabilistic variables  On

Above phreatic level

Shear strength model: SHANSEP (undrained)

	Deterministic	Use as stochastic	Mean	Standard deviation	Design	
Unit weight	14.8					kN/m <sup>3</sup>
Shear strength ratio (S)	0.23	<input checked="" type="checkbox"/> On	0.3	0.05	0.225	[-]
Strength increase exponent (m)	0.9	<input checked="" type="checkbox"/> On	0.95	0.025	0.909	[-]

Below phreatic level

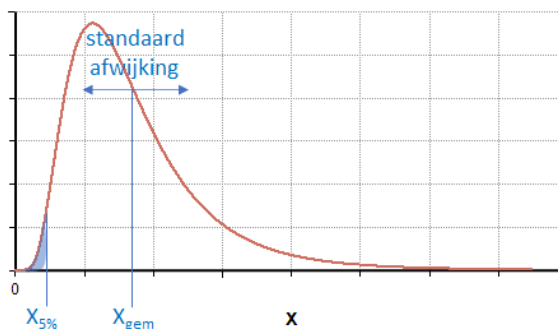
Shear strength model: Same as above

Unit weight: 14.8 kN/m<sup>3</sup>

Correlated materials

**Kader Stochastische variabelen en correlaties**

In het kader van faalkansanalyses streven we er naar om een zo goed mogelijke schatting van de faalkans te verkrijgen. Daarom trachten we onzekerheden zo zuiver mogelijk af te beelden in termen van kansen en kansverdelingen. In de faalkans handreiking<sup>a</sup>(sectie 2.6) wordt ingegaan op de drie meest gangbare manieren van modellering van onzekerheden: continue kansverdelingen (incl. hoe om te gaan met "student t" factor), scenario's en (conservatieve keuze) puntschattingen (waar modellering in termen van kansen niet mogelijk is), maar ook op de modellering van afhankelijkheden tussen stochasten of correlaties.



D-Stabiltiy maakt gebruik van **lognormal verdeling**, die geschikt is voor de meeste parameters met natuurlijke spreiding en waarvan een getalswaarde kleiner dan 0 (nul) fysisch niet mogelijk is.

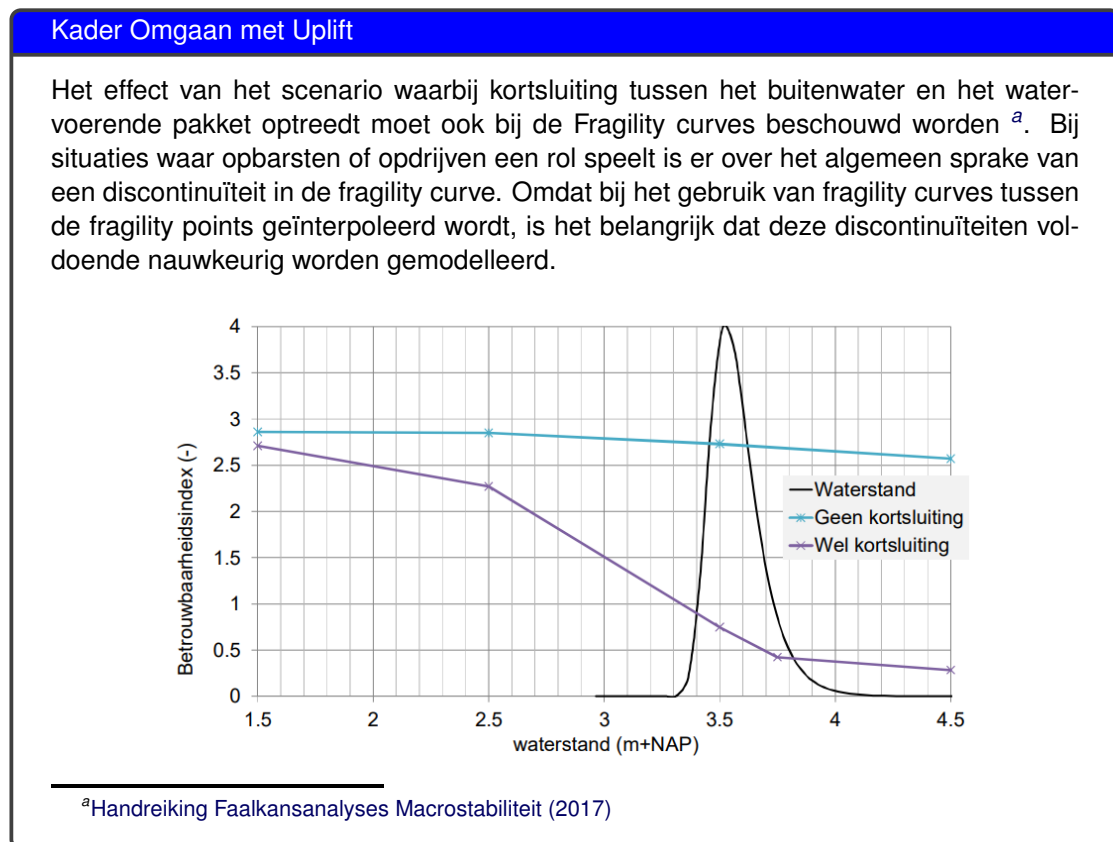
<sup>a</sup>Handreiking Faalkansanalyses Macrostabiltiy (2017)

**Stap 4** Definieer fragility points m.b.v. stages. Definieer 'Loads' en 'Water'.

Omdat uplift geen plaats vindt bij deze dijkprofiel, gebuikt bv. 3 verschillende buitenwaterstand niveaus als fragility points, met de overeenkomstige freatische- en stijghoogtelijnen zoals:

**Table 1:** Fragility Curve punten voor *Tutorial.stix*: coördinaten van freatische- en stijghoogtelijnen per buitenwaterstand NAP + meters.

Buitenwaterstand	Freatische lijn	Stijghoogtelijn
dagelijks: 5.6	-9.8; 5.6, 0.5; 7.5, 8.5; 7.5, 20.4; 5.5	n.v.t.
intussen: 9.0	-1.1; 9, 1.2; 9, 7; 9, 18.9; 6, 40; 5.7	-99.9; 8, -0.8; 6.5, 42.5; 6.1, 149.9; 6
hoogwater: 12.0	-1.1; 12, 1.2; 10.9, 7; 10.9, 18.9; 7.7, 40; 5.7	-99.9; 10, -0.8; 8.4, 42.5; 8.1, 149.9; 8



**Stap 5** Bereken het veiligheidsfactor voor de verschillende stages / fragility points: 'Calculate' > 'Settings' > 'Calculation : Design'.

 In de User's Manual wordt verondersteld dat het kritieke glijcirkel bepaald met rekenwaarden van sterkte en belasting (design values) overeenkomt met het glijcirkel met de hoogste faalkans. Dit glijcirkel is dan in FORM <sup>3</sup> berekening (probabilistische som) vastgezet zodat niet alle mogelijke glijcirkels hoeven worden beschouwd.

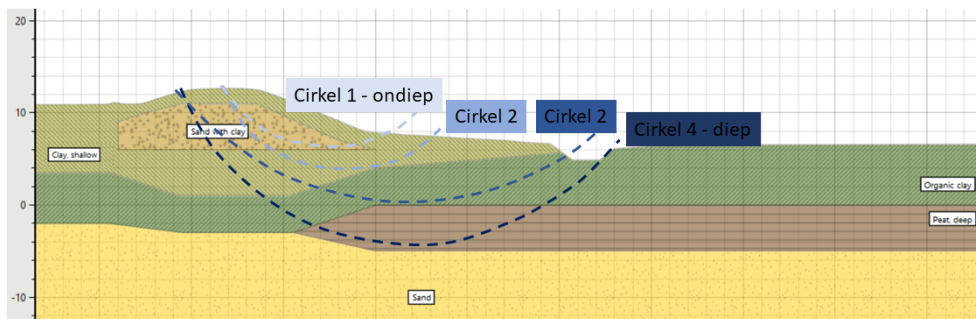
<sup>3</sup>First-Order Reliability Method - probabilistische methode die D-Stability gebruikt om de faalkans te bepalen. FORM is een benaderingsmethode die voor een vast glijcirkel nauwkeurig resultaten geeft. Als er een FORM analyse wordt uitgevoerd kunnen convergentieproblemen ontstaan (FORM werkt met een iteratief zoekalgoritme om het design point te vinden; zie **CUR 190**). Convergentieproblemen in de FORM procedure ontstaan vaak bij discontinuïteiten in de kansverdelingen van de parameters of bij discontinuïteiten in het model.

### Kader Maatgevende glijcirkel

Een kritieke glijcirkel in een semi-probabilistische som (met rekenwaarden) **hoeft niet altijd het maatgevende te zijn**, als het om de faalkans gaat, omdat er andere onzekerheden of grondlagen een rol spelen. Het is daarom ten zeerste aanbevolen om al mogelijk glijcirkels te beschouwen. Met andere woorden, voor al de verschillende mogelijke dieptes/lagen zoeken wij de maatgevende glijcirkel.

Voor de hierin tutorial, zijn de verschillende mogelijke glijcirkels hieronder genoemd (zie ook figuur):

- cirkel 1: door 'Sand with clay'
- cirkel 2: door 'Clay, shallow'
- cirkel 3: door 'Organic clay'
- cirkel 4: door 'Peat, deep' / interface



**Stap 6** Bereken de maatgevende glijcirkel voor de verschillende stages en mogelijk glijcirkels C1 t/m C4<sup>4</sup>.

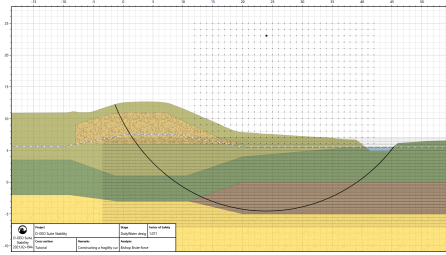
Om de verschillende cirkels te kunnen beschouwen kan je de volgende instellingen aanpassen:

- 'Calculate' > 'Constrains' > 'Circle constrain zone A' EN/OF 'zone B' (intrede- en uitredpunt van glijcirkel)
- 'Calculate' > 'Constrains' > 'Slip Plane : ON' > 'Minimum circle depth : 2 m'
- 'Calculate' > 'Reinforcements' > 'Forbidden line'

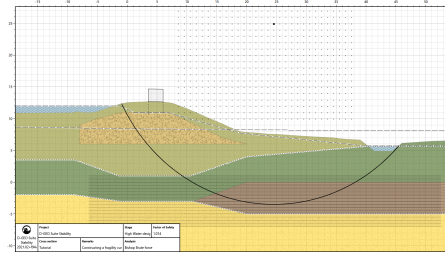
<sup>4</sup>uiteindelijk eindigen we met een groot aantal stages: 12 = 3 buitenwaterstanden x 4 cirkels - zie resultaten in pagina 6

Veiligheidsfactor resultaten (**Stap 6**):

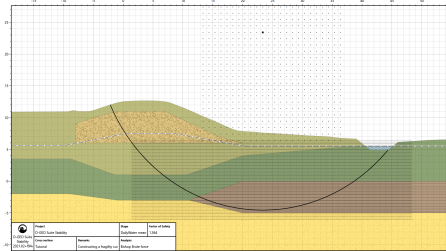
dagelijks buitenwaterstand design



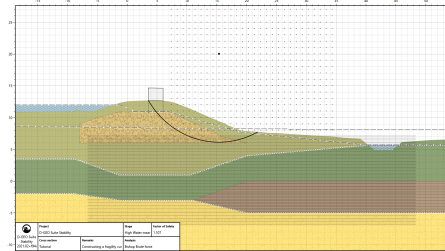
hoogwater design



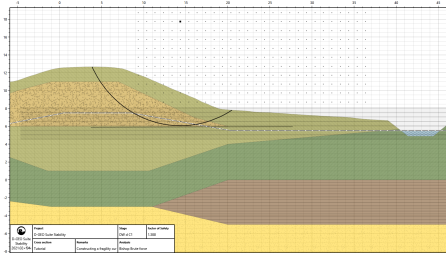
dagelijks buitenwaterstand gemiddelde



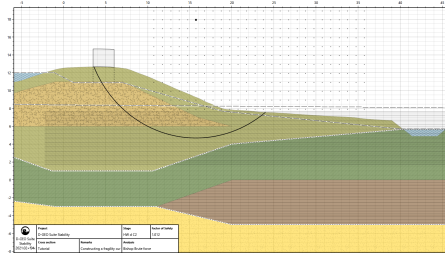
hoogwater gemiddelde



ondiep cirkel (C1) dagelijks

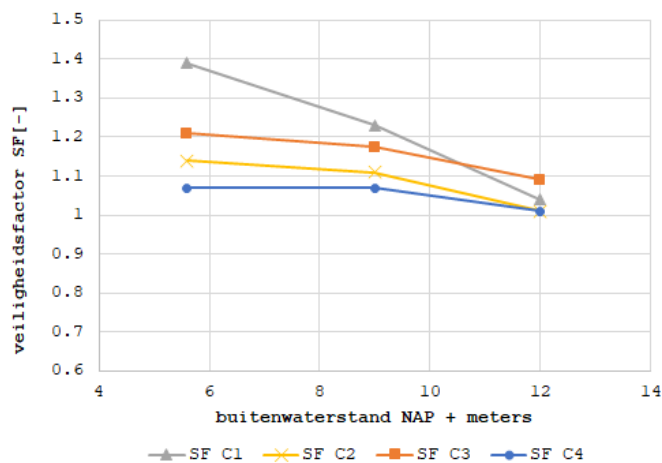


ondiep cirkel (C2) hoogwater



**Table 2:** Veiligheidsfactor (SF) resultaten met rekenwaarden. Laagste SF per buitenwaterstand in **rood** gemarkeerd.

Buitenwaterstand	glijcirkel C1	glijcirkel C2	glijcirkel C3	glijcirkel C4
dagelijks: 5.6	1.39	1.14	1.21	1.07
intussen: 9.0	1.23	1.11	1.17	1.07
hoogwater: 12.0	1.04	1.01	1.09	1.01



**Stap 7** Bereken het betrouwbaarheidsindex (beta) voor de verschillende stages (buitenwaterstanden en mogelijk glijcirkels C1 t/m C4).

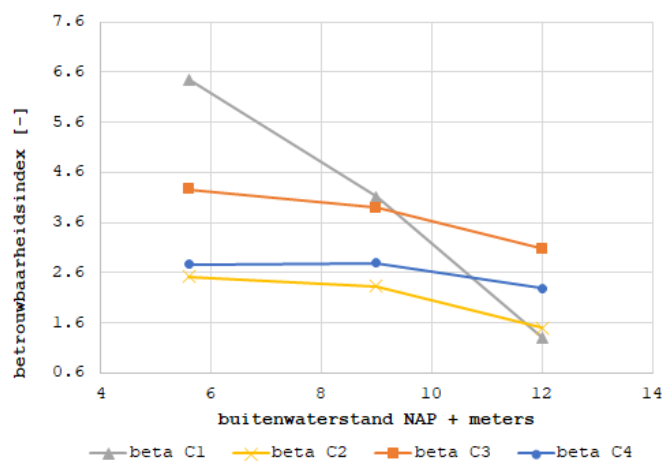
Gebruikt de volgende instellingen bij 'Calculate':

- 'Analysis method' > 'Single calculation : BHP'
- 'Settings' > 'Calculation : Probabilistic'
- 'Settings' > 'Calculation : Model factor mean 1.025 standard deviation 0.05'<sup>5</sup>

Betrouwbaarheidsindex resultaten (**Stap 7**):

**Table 3:** Betrouwbaarheidsindex resultaten uit probabilistische som. Laagste beta per buitenwaterstand in **rood** gemarkeerd. Alle FORM berekeningen zijn geconvergeerd.

Buitenwaterstand	glijcirkel C1	glijcirkel C2	glijcirkel C3	glijcirkel C4
dagelijks: 5.6	6.5	2.5	4.3	2.8
intussen: 9.0	4.1	2.3	3.9	2.8
hoogwater: 12.0	1.3	1.5	3.1	2.3



**!** Is het je opgevallen dat (per buitenwaterstand) de cirkel die de minimale SF geeft, niet de cirkel is die de minimale beta geeft? Bij de semi-probabilistische analyses (**Stap 6**) is de maatgevende glijcirkel duidelijk, en hetzelfde voor alle buitenwaterstanden: circle C4. Voor de faalkans analyse (**Stap 7**) is de maatgevende glijcirkel anders per buitenwaterstand en ook anders dan voor de semi-probabilistische analyse. Voor de faalkans zijn de cirkels C2 en C1 maatgevende. Deze zijn in de respectieve tabellen **rood** gemarkeerd.

<sup>5</sup>Model onzekerheid voor Bishop - Handreiking Faalkansanalyses Macrostablieit (2017). Voor Uplift-Van en Spencer moeten andere waardes worden gehanteerd.

**Kader FORM convergentie**

In dit geval is de convergentie geslaagd. Dit is niet gegarandeerd. Indien de veiligheidsfactor zodanig is dat de Z-functie ( $SF-1=0$ ) niet kan worden bereikt, wordt de gebruiker daarvan op de hoogte gebracht dat er geen convergentie is. Dit kan veroorzaakt worden door (1) een startpunt te ver van  $SF=1.0$ ; (2) te weinig variantie in de stochastische parameters of (3) meer dan 1 design point is gevonden door de FORM zoekalgoritme. Aanbevolen wordt om niet meteen alle parameters als stochast te zetten en deze stapsgewijze toe te voegen, te veel stochasten zorgt voor traag berekening en soms ook convergentie problemen.

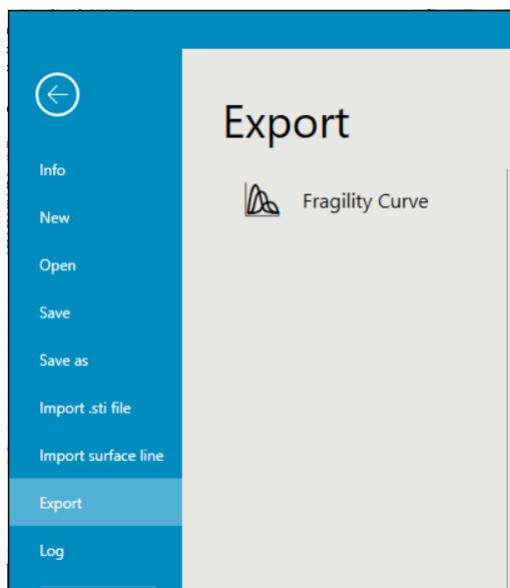
**Stap 8** Bepaal de uiterste fragility curve, o.b.v. de resultaten uit **Stap 7**, i.e. minimum beta per buitenwaterstand. Voor deze tutorial:

**Table 4:** Fragility curve o.b.v. betrouwbaarheidsindex resultaten (laagste beta per buitenwaterstand).

Buitenwaterstand	Maatgevende glijcirkel	beta
dagelijks: 5 . 6	C2	2 . 5
intussen: 9 . 0	C2	2 . 3
hoogwater: 12 . 0	C1	1 . 3

**Stap 9** Exporteer de fragility curve, door:

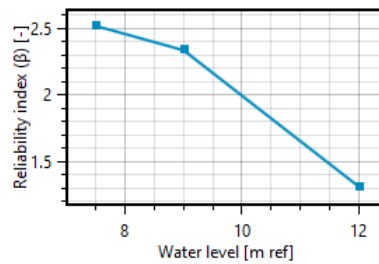
- (a) te klikken op 'File' > 'Export' > 'Fragility Curve';
- (b) selecteer de fragility points, i.e. gekozen stages uit **Stap 8**;
- (c) klik 'Export' en opslaan \* . json file.





## Fragility Curve

Export	Stage	Water level [m ref]	Reliability index ( $\beta$ ) [-]
<input type="checkbox"/>	DW prob C1	7.500	6.455
<input checked="" type="checkbox"/>	DW prob C2	7.500	2.518
<input type="checkbox"/>	DW prob C3	7.500	4.266
<input type="checkbox"/>	DW prob C4	7.500	2.766
<input type="checkbox"/>	BD prob C1	9.000	4.111
<input checked="" type="checkbox"/>	BD prob C2	9.000	2.335
<input type="checkbox"/>	BD prob C3	9.000	3.897
<input type="checkbox"/>	BD prob C4	9.000	2.801
<input checked="" type="checkbox"/>	HW prob C1	12.000	1.311
<input type="checkbox"/>	HW prob C2	12.000	1.504
<input type="checkbox"/>	HW prob C3	12.000	3.085
<input type="checkbox"/>	HW prob C4	12.000	2.290



Export

Cancel

In de bovenstaande figuur zijn de 3 gekozen fragility points aangevinkt.

De \*.json file geeft (1) de waarden van de buitenwaterstand (hoogste punt van de freatische lijn) (2) de betrouwbaarheidsindex en de Alpha-waardes<sup>6</sup>.

**Stap 10** Berekenen totale faalkans. De totale faalkans wordt bepaald door de fragility curve te combineren met de waterstandsstatistiek. De totale faalkans kan worden bepaald door numerieke integratie of Hydra-Ring.

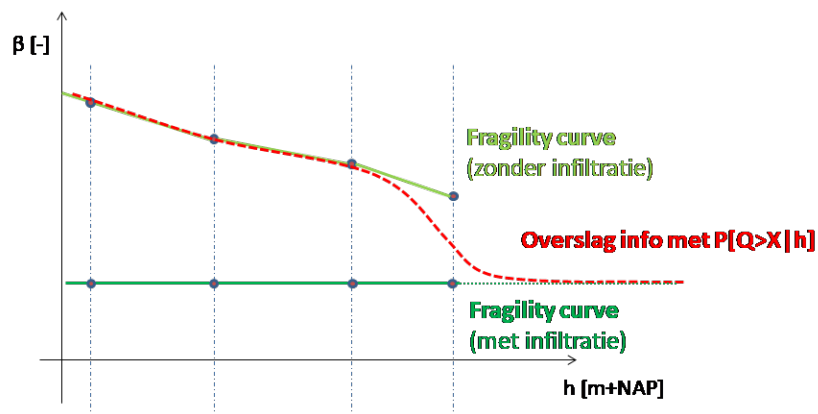
De \*.json file kan dus geïmporteerd worden door Hydra-Ring die de integratie met de buitenwaterstand en overslag kan uitvoeren.

<sup>6</sup>i.e. Invloedscoëfficiënten die een FORM by-product zijn;  $-1 \leq \text{Alpha} \leq 1$

## Kader Omgaan met overslag

Voor de berekening van de macrostabiliteit faalkans is het belangrijk om te weten bij welke waterstand we uit moeten gaan van een volledig verzadigd dijklichaam <sup>a</sup>. Dus, om door te gaan met de analyse, zijn verschillende curves nodig met daarin de kans op overslagdebiet van  $Q = X \text{ l/s/m}^b$  bij verschillende waterstanden (i.e.  $P[Q > X|h]$ ), inclusief onzekerheid. Het is zeer onzeker bij welke waterstand de overslagdebieten (die voor de transitie van situatie 'zonder infiltratie' naar 'met infiltratie' zorgen) zullen optreden. Hiervoor kunnen twee methodes gebruikt:

- 1 Benaderingsmethode op basis van illustratiepunten;
- 2 Of exacte methode op basis van kans op infiltratie (ofwel  $P[Q > X|h]$ ).



<sup>a</sup>Handreiking Faalkansanalyses Macrostabiliteit (2017)

<sup>b</sup>De waarden van  $X$  (kritiek overslagdebiet) is gebruikt om (1) het begin van infiltratie en (2) het eind (volledige) infiltratie te bepalen. Deze waarden moeten per locatie worden bepaald. Ze zijn afhankelijk van de gebied (hydraulische randvoorwaarden en tijdeffecten) en de dijklichaam materiaal en deklaag(en).