|  |
| --- |
| Versie 1.0  1 juni 2025 |

|  |
| --- |
| Handleiding BOLuS  Beoordelingstool Stabiliteit |

Afbeelding met kunst, tekening, Acrylverf, Schilderverf

Door AI gegenereerde inhoud is mogelijk onjuist.

*Dijkweg bij Westkapelle - Jan Toorop 1910*

Inhoudsopgave

[1 Inleiding 2](#_Toc194568221)

[1.1 Functionaliteiten 2](#_Toc194568222)

[1.2 Versiebeheer 2](#_Toc194568223)

[1.3 Leeswijzer 2](#_Toc194568224)

[2 Installatie en gebruik 3](#_Toc194568225)

[2.1 Tool downloaden 3](#_Toc194568226)

[2.2 Virtual environment 3](#_Toc194568227)

[2.2.1 Installeren 4](#_Toc194568228)

[2.2.2 Activeren 4](#_Toc194568229)

[2.3 Gebruik 4](#_Toc194568230)

[3 Opstellen invoerbestand 5](#_Toc194568231)

[3.1 Instellingen 5](#_Toc194568232)

[3.2 Dwarsprofielen 5](#_Toc194568233)

[3.3 Kar. punten 6](#_Toc194568234)

[3.4 Sterkteparameters 6](#_Toc194568235)

[3.5 Bodemprofielen 7](#_Toc194568236)

[3.6 Bodemopbouw 8](#_Toc194568237)

[3.7 Bekleding 8](#_Toc194568238)

[3.8 Belasting 8](#_Toc194568239)

[3.9 Waterspanningen 9](#_Toc194568240)

[3.10 Gridinstellingen 10](#_Toc194568241)

[3.10.1 Algemeen 10](#_Toc194568242)

[3.10.2 Bishop 10](#_Toc194568243)

[3.10.3 Uplift Van 11](#_Toc194568244)

[3.10.4 Randvoorwaardes glijvlak 12](#_Toc194568245)

[3.11 Berekeningen 12](#_Toc194568246)

[4 Technische documentatie 14](#_Toc194568247)

[4.1 Geometrie 14](#_Toc194568248)

[4.1.1 Het L-coördinaat 14](#_Toc194568249)

[4.2 Bodemopbouw 14](#_Toc194568250)

[4.3 Waterspanningen 14](#_Toc194568251)

[4.4 State points 14](#_Toc194568252)

Bijlagen

[Bijlage 1. Bijlage](#_Toc194568457)

# Inleiding

Waterschap Scheldestromen maakt voor het ingenieurswerk aan de waterkeringen uitvoerig gebruik van automatisering. In de eerste helft van 2025 is het waterschap gestart met de ontwikkeling van de “Beoordelingstool Stabiliteit” (BOLuS). Deze tool heeft als doel het geautomatiseerd opstellen, doorrekenen en uitlezen van stabiliteitsberekeningen met D-Stability. De tool is geprogrammeerd in Python en wordt aangestuurd met behulp van een Excel invoerbestand. Voorliggend document bevat de technische documentatie en licht het gebruik van de tool toe.

## Functionaliteiten

In hoofdlijnen bevat de tool de onderstaande functionaliteiten met betrekking tot het opstellen, doorrekenen en uitlezen van D-Stability rekenbestanden:

* Toevoegen van geometrie
* Inlezen van karakteristieke punten (ten behoeve van de schematisering van diverse onderdelen).
* Toevoegen van sterkteparameters voor Mohr-Coulomb en Shansep inclusief probabilistische parameters.
* Toekennen van een state point met POP op basis van de grondsoort.
* Toevoegen van diverse 1D-bodemprofielen in een dwarsprofiel.
* Schematiseren van een bekleding op basis van karakteristieke punten. Meerdere type bekledingen zijn mogelijk (variatie van dikte en materiaal binnen een dwarsdoorsnede).
* Toevoegen van belastingen op basis van karakteristieke punten
* Toevoegen van waterspanningen (freatische lijn, stijghoogtelijnen en referentielijnen) op basis van harde invoer (door de gebruiker opgesteld).
* Toevoegen van gridinstellingen voor Uplift-Van Particle Swarm en Bishop Brute Force op basis van karakteristieke punten. Meerdere gridinstellingen mogelijk per scenario.
* Toevoegen van glijvlakrestricties op basis van karakteristieke punten.
* In batch opstellen van meerdere berekeningen met een aantal scenario’s en stages naar keuze. Per stage/scenario zijn de instellingen met betrekking tot al het bovenstaande te variëren.
* Parallel doorrekenen van D-Stability bestanden.
* Uitlezen van Bishop en Uplift-Van rekenresultaten. Zowel deterministisch als probabilistisch. Dimensies van het kritieke glijvlak worden eveneens uitgelezen.

## Versiebeheer

tabel 1.1: Versiebeheer

| **Versie** | **Toelichting** | **Datum** |
| --- | --- | --- |
| 0.1.0 | Eerste versie. Opstellen, doorrekenen en uitlezen van D-Stability berekeningen | 31-03-2025 |
| *0.2.0* | *Uitbreiding schematisering waterspanningen* | *02-06-2025* |

## Leeswijzer

**Hoofdstuk 2:** Installatie van de tool

**Hoofdstuk 3:** Gebruik van de tool

**Hoofdstuk 4:** Toelichting op het invoerbestand

**Hoofdstuk 5:** Technische documentatie

# Installatie en gebruik

Deze instructie gaat ervan uit dat Python versie 3.13 is geïnstalleerd.

## Tool downloaden

De broncode van BOLuS is open-source en staat op de Github-pagina van Waterschap Scheldestromen: <https://github.com/scheldestromen/BOLuS>. In deze paragraaf wordt toegelicht hoe de tool via Github gedownload wordt. Als alternatief kan BOLuS met behulp van git worden gecloned.

* Ga naar <https://github.com/scheldestromen/BOLuS>
* Download de tool als zip-bestand:

Afbeelding met tekst, schermopname, nummer, Lettertype

Door AI gegenereerde inhoud is mogelijk onjuist.

* Plaats het zip-bestand op een locatie naar keuze en pak het hier uit. Deze locatie mag niet gesynchroniseerd worden met een cloudomgeving (OneDrive). Dit kan tot problemen leiden bij het doorrekenen van D-Stability berekeningen.

**Aandachtspunt:**

Zorg dat BOLuS op een locatie staat die NIET gesynchroniseerd wordt met de cloud (OneDrive). Dit zorgt voor problemen bij het doorrekenen van de D-Stability berekeningen.

## Virtual environment

Voor het gebruik van de tool is het nodig een virtual environment op te zetten. Dit is een afgeschermde Python-omgeving waarin de voor de tool benodigde afhankelijkheden worden geïnstalleerd. In deze paragraaf is toegelicht hoe met behulp van Anaconda een virtual environment opgezet kan worden met behulp van het bestand “environment.yml”. Als alternatief kan de tool ook worden geïnstalleerd met behulp van pip en de “requirements.txt”. Dit is niet toegelicht.

### Installeren

* Navigeer in de verkenner naar de locatie waar de tool is geplaatst en open de map BOLuS-main. Kopieer het pad naar deze map.
* Open de Anaconda Prompt.
* Wijzig de locatie van de anaconda prompt met onderstaande commando (inclusief “”):

cd “pad\_naar\_bolus”

* Creëer een nieuwe conda environment met onderstaand commando:

conda env create -f environment.yml

### Activeren

Voor het gebruik van de tool moet de virtual environment geactiveerd worden. Doorloop hiervoor de onderstaande stappen:

* Open de Anaconda Prompt
* Type onderstaand commando om de environment te activeren:

conda activate venv\_bolus

* “venv\_bolus” is de naam van de virtual environment. Deze is gespecificeerd in de “environment.yml” en is toegekend aan de environment toen deze werd aangemaakt.

## Gebruik

### Workflow

* Vul het invoerbestand met de benodigde gegevens. De invoersheet heet “Invoer BOLuS.xlsx” en staat op de locatie BOLuS-main/excel\_tool. Het opstellen van het invoerbestand is toegelicht in hoofdstuk 3.
* Sluit het invoerbestand, anders kan deze niet worden uitgelezen.
* Open de anaconda prompt, navigeer naar BOLuS-main (paragraaf 2.2.1) en activeer de environment (paragraaf 2.2.2). De environment hoeft slechts eenmaal geïnstalleerd te worden (zolang de tool niet wijzigt). Als dit al is gedaan kan de environment direct geactiveerd worden.
* Run de tool met behulp van onderstaand commando:

python -m excel\_tool.main

### Aanbevelingen

BOLuS werkt met een Excelsheet als invoer. Dit biedt voordelen maar geeft ook aandachtspunten. De gebruiker heeft bijvoorbeeld de vrijheid om verschillende schematiseringsopties met elkaar te combineren. Sommige schematiseringsopties of instellingen vereisen echter specifieke uitgangspunten betreft de overige invoer. Deze uitgangspunten zijn in deze handleiding gedocumenteerd. Voldoet de opgegeven invoer niet aan deze uitgangspunten dan volgt er een foutmelding. Om te zorgen voor een soepel werkproces is het onderstaande aanbevolen:

**Aanbeveling:**

Bouw de berekeningen stapsgewijs op en genereer na één of enkele stappen een tussenversie van de berekeningen. Start bijvoorbeeld met de geometrie, sterkteparameters en bodemopbouw. Dit is het minimaal benodigde om een berekening te genereren. Bouw de berekeningen stapsgewijs uit. Dit helpt bij het duiden van foutmeldingen.

# Opstellen invoerbestand

Ieder tabblad van het invoerbestand is in een aparte paragraaf toegelicht. Onderstaand zijn enkele algemene opmerkingen en aandachtspunten:

* De tool leest het invoerbestand uit op basis van de bestandsnaam, tabbladnamen en kolomtitels. Pas deze dus nooit aan.
* Het invoerbestand is ter ondersteuning van de gebruiker voorzien van voorwaardelijke opmaak en invoerbeperking. Het ‘slepen’ van cellen kan zorgen voor fouten in de opmaak. Zorg dat er nooit cellen gesleept worden. Verwijder geen regels en voeg geen regels in. Maak enkel gebruik van kopiëren en plakken als waarden.
* Sommige tabbladen hebben meerdere titelregels met informatie over de gevraagde invoer of een maximum aantal tekens. Dit zijn maximaal de onderstaande titelregels. Niet alle regels zijn in ieder tabblad aanwezig:
  1. Categorie (in hoofdletters);
  2. Kolomtitel
  3. Eenheid
  4. Korte toelichting

## Instellingen

In het tabblad “Instellingen” worden een aantal algemene instellingen opgegeven. De naam van de instelling staat in de kolom “Instelling”. Deze dient niet aangepast te worden. De aan te passen waarde staat in de kolom “Waarde”. De volgende instellingen worden opgegeven:

* **Dimensie geometrie** (2D/3D): De dwarsprofielen en karakteristieke punten worden opgegeven in de tabbladen “Dwarsprofielen” en “Kar. punten”. Hierbij worden X-, Y- en Z-coördinaten opgegeven. Indien gekozen is voor 3D dan worden de X-, en Y-coördinaten omgerekend naar een L-coördinaat. Deze omrekening is toegelicht in paragraaf 4.1. Wanneer gekozen wordt voor 2D dan wordt het X-coördinaat als L-coördinaat gehanteerd en wordt het Y-coördinaat genegeerd. Er vindt geen omrekening plaatst.
* **Minimale diepte ondergrond**: De bodemprofielen worden opgegeven in het tabblad “Bodemprofielen”. Per grondlaag wordt enkel de bovenkant opgegeven. De onderkant van iedere laag is gelijk aan de bovenkant van de laag daaronder. Zodoende heeft de onderste laag geen onderkant. Met deze instelling wordt aangegeven tot welke diepte de ondergrond minimaal is gedefinieerd. Ten alle tijden wordt een minimale laagdikte van 1,0 m gehanteerd. Zodoende kan de ondergrond ook tot dieper lopen.
* **Waterspanningen toepassen** (Ja/Nee):Bij “Ja” worden de stijghoogtelijnen en referentielijnen zoals opgegeven in het tabblad “Waterspanningen” aan de berekeningen toegevoegd. Bij “Nee” wordt dit tabblad genegeerd.
* **Rekenen** (Ja/Nee): Bij “Ja” worden de gegenereerde berekeningen doorgerekend en worden de resultaten uitgelezen. Dit wordt weggeschreven naar de uitvoermap (zie volgende punt). Er wordt alleen gerekend indien er ook gridinstellingen zijn opgegeven (zie paragraaf 3.10 en 3.11).
* **Uitvoermap**: Pad naar de gewenste map voor de D-Stability rekenbestanden en eventuele rekenresultaten. Indien leeggelaten dan wordt de uitvoer naar “BOLuS-main/excel\_tool/Uitvoer” weggeschreven.

## Dwarsprofielen

Voor de invoer van de dwarsprofielen is het onderstaande van toepassing:

* Het format van dit tabblad is een veelvoorkomend format. Het wordt onder andere gebruik voor de software Riskeer en DAM. Daarnaast kan dit format gebruikt worden voor de software “qDAMEdit” (ook wel de “kliktool”) om de karakteristieke punten aan te geven.
* Elke regel stelt een dwarsprofiel voor.
* De kolom “LOCATIONID” bevat de naam van het dwarsprofiel.
* De opvolgende kolommen bevatten achtereenvolgend de X-, Y- en Z-coördinaten (X1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2, …. enz. ).
* De coördinaten dienen in het X-Y-vlak in een rechte lijn te liggen. Zo niet dan leidt de berekening van het L-coördinaat tot een foutieve representatie van de geometrie.
* De coördinaten dienen volgordelijk te zijn. Anders geeft de tool een foutmelding.

## Kar. punten

Karakteristieke punten zijn een set kenmerkende punten binnen een dijkprofiel. Hieronder vallen bijvoorbeeld de binnen- en buitenteen. De karakteristieke punten kunnen worden gedefinieerd met behulp van de dwarsprofielen en de software “qDAMEdit” (ook wel de “kliktool”). De karakteristieke punten worden in overige delen van de tool gebruikt voor een aantal onderdelen (zie hiervoor paragraaf 1.1).

Voor de invoer van de karakteristieke punten is het onderstaande van toepassing:

* Het format van dit tabblad is een veelvoorkomend format. Het wordt onder andere gebruik voor de software Riskeer en DAM. De karakteristieke punten kunnen opgesteld worden met behulp van de dwarsprofielen en de software “qDAMEdit” (ook wel de “kliktool”).
* De kolom “LOCATIONID” bevat de naam van het dwarsprofiel uit het tabblad “Dwarsprofielen” waartoe de karakteristieke punten behoren. Ieder dwarsprofiel moet één set karakteristieke punten met dezelfde “LOCATIONID” hebben (en vice-versa).
* Een waarde van -1 voor zowel het X-, Y- als Z-coördinaat betekent dat het karakteristieke punt niet bestaat voor het betreffende dwarsprofiel. Dit is conform het qDAMEdit format.
* Wanneer in het tabblad “Instellingen” bij “Dimensie geometrie” is gekozen voor 3D dan dient minimaal het karakteristieke punt “Maaiveld binnenwaarts” opgegeven te worden. Deze is benodigd voor een consistentie oriëntatie van de 2D-profielen. Wanneer is gekozen voor 2D dan zijn alle punten optioneel. Uiteraard zijn de karakteristieke punten dan niet te gebruiken ter referentie in de andere tabbladen. De functionaliteit van de tool beperkt zich in dat geval tot de geometrie, bodemopbouw, sterkteparameters en de waterspanningsschematisatie.

## Sterkteparameters

* De sterkteparameters kunnen opgegeven worden voor de sterktemodellen Mohr-Coulomb en Shansep. Het is niet mogelijk om gebruik te maken van SU-tables of Sigma-Tau curves.
* In kolom “Naam grondsoort” wordt de naam van de grondsoort opgegeven. Kies voor iedere grondsoort een unieke naam.
* In de kolom “Probabilistische sterkteparameters” wordt aangegeven of de sterkeparameters probabilistisch zijn. Dit wordt toegepast op de D-Stability instelling welke in onderstaand figuur is aangeduid met ‘A’. Aanvullend dient in D-Stability per sterkteparameter (S, m of c, phi) aangegeven toe worden of de parameter stochastisch is. Dit wordt bepaald aan de hand van de ingevoerde standaardafwijking. Indien deze niet is ingevuld is, of gelijk is aan nul, dan wordt de invoer zoals onderstaand aangegeven met ‘B’ op ‘off’ gezet. Anders wordt deze op ‘on’ gezet.



figuur 3.1: Invoer stochastische waarde sterkteparameters D-Stability

* In de opvolgende kolommen worden de gemiddelde waardes en standaardafwijkingen voor de sterkteparameters opgegeven. Indien een parameter niet als stochast is aangemerkt wordt het gemiddelde gebruik als deterministische rekenwaarde.
* De POP kan per grondsoort toegekend worden. Indien een waarde voor de POP is opgegeven dan wordt in iedere grondlaag van de grondsoort een “state point” toegevoegd met deze waarde voor de POP. Dit is verder toegelicht in paragraaf 4.4.
* In de kolom “Probabilistische POP” wordt opgegeven of de POP van de betreffende grondsoort een stochast is. Net zoals bij de sterkteparameters wordt de POP alleen daadwerkelijk als stochast behandeld als er een standaardafwijking is opgegeven.
* Het is niet mogelijk om POP-stochasten van verschillende grondsoorten aan elkaar te correleren.
* Het is alleen mogelijk om de POP op te geven. Het opgeven van de OCR of een Yield Stress (grensspanning) is niet mogelijk. Het opgeven van de grensspanning zou niet passen in deze methodiek waarbij de belastinggeschiedenis als grondeigenschap wordt behandeld.
* De POP wordt toegevoegd in een “state point”. Het is niet mogelijk te werken met “state lines”.
* In de kolom “c-φ” wordt aangegeven of de cohesie en de hoek van inwendige wrijving aan elkaar gecorreleerd zijn. Indien niet opgegeven worden de parameters als onafhankelijk behandeld.
* In de kolom “S-m” wordt aangegeven of de ongedraineerde schuifsterkteratio en de sterktetoename-exponent aan elkaar gecorreleerd zijn. Indien niet opgegeven worden de parameters als onafhankelijk behandeld.
* In de kolom “Consolidatie belasting” wordt opgegeven wat het consolidatiepercentage als gevolg van een eventuele uniforme belasting is. Bij 100 (%) is er geen waterspanning als gevolg van een uniforme belasting. Indien er geen uniforme belasting is heeft de invoer geen effect.
* In de kolom “Kleur” wordt de te hanteren kleur van de grondsoort opgegeven. De kleur wordt ingevoerd in het hexadecimale format “#AARRGGBB” opgegeven. Waarin “AA” staat voor de transparantie en “RR”, “GG” en “BB” voor rood, groen en blauw respectievelijk. Alle kleuren zijn mogelijk. Ter ondersteuning van de gebruiker zijn de in D-Stability beschikbare kleuren opgenomen aan de rechterkant van de meest rechtse invoerkolom.
* In de kolom “Patroon” wordt het type arcering van de grondsoort opgegeven.

## Bodemprofielen

De term “bodemprofiel” wordt in de tool en deze handleiding gebruikt voor een ééndimensionale bodemopbouw. In het tabblad “Bodemprofielen” kunnen meerdere bodemprofielen opgegeven worden. Voor de invoer geldt het onderstaande:

* Iedere regel stelt een grondlaag voor.
* De grondlagen behorende tot één bodemprofiel hebben alle dezelfde naam in de kolom “Naam bodemprofiel”. De tool herkent zo welke grondlagen bij elkaar horen.
* In de kolom “Grondsoort” wordt de grondsoort opgegeven. Er kan gekozen worden uit de grondsoorten zoals opgegeven in tabblad *‘Sterkteparameters’*. Wanneer de grondsoortnaam in het tabblad “Sterkteparameters” wordt aangepast, dient dit ook in het tabblad “Bodemprofielen aangepast te worden. Anders volgt er een foutmelding uit de tool.
* In de kolom “Bovenkant” wordt de bovenkant van de laag opgegeven. De onderkant van de laag wordt bepaald door de bovenkant van de onderliggende laag. De omgang met de onderste laag is toegelicht in paragraaf 3.1 bij de instelling “Minimale diepte ondergrond”.
* De grondlagen dienen per bodemprofiel van boven naar onder opgegeven te worden. Anders volgt er een foutmelding uit de tool.
* Zorg dat het bodemprofiel minimaal tot het maaiveld gedefinieerd is. Indien dit niet het geval is dan ontbreekt in de berekening het gedeelte boven het bodemprofiel. Het wordt aanbevolen om voor de bovenste laag een standaardwaarde aan te houden die voor alle dwarsprofielen boven het maaiveld ligt.

## Bodemopbouw

In het tabblad “Bodemopbouw” kunnen meerdere bodemprofielen gecombineerd worden tot één bodemopbouw. Dit kan door meerdere bodemprofielen uit het tabblad “Bodemprofielen” aan elkaar te ‘plakken’. Voor het opgeven van de bodemopbouw geldt het onderstaande:

* Iedere regel stelt een bodemopbouw voor.
* In de kolom “Naam bodemopbouw” wordt de naam van de bodemopbouw gegeven. Kies voor iedere regel een unieke naam.
* In de eerste kolom met de titel “Bodemprofiel” wordt het eerste bodemprofiel opgegeven. Er kan gekozen worden uit de bodemprofielen zoals opgegeven in het tabblad “Bodemprofielen”.

Deze start op het meest linker punt van het dwarsprofiel en loopt tot het eerstvolgende bodemprofiel.

* De overige kolommen zijn afwisselend “Bodemprofiel” en “L-coördinaat start”. In de kolommen “L‑coördinaat start” wordt opgegeven waar het bodemprofiel start. Het einde van het bodemprofiel wordt bepaald met behulp van het startpunt van het volgende bodemprofiel.
* Het laatste bodemprofiel eindigt bij het meest rechterpunt in het dwarsprofiel.

## Bekleding

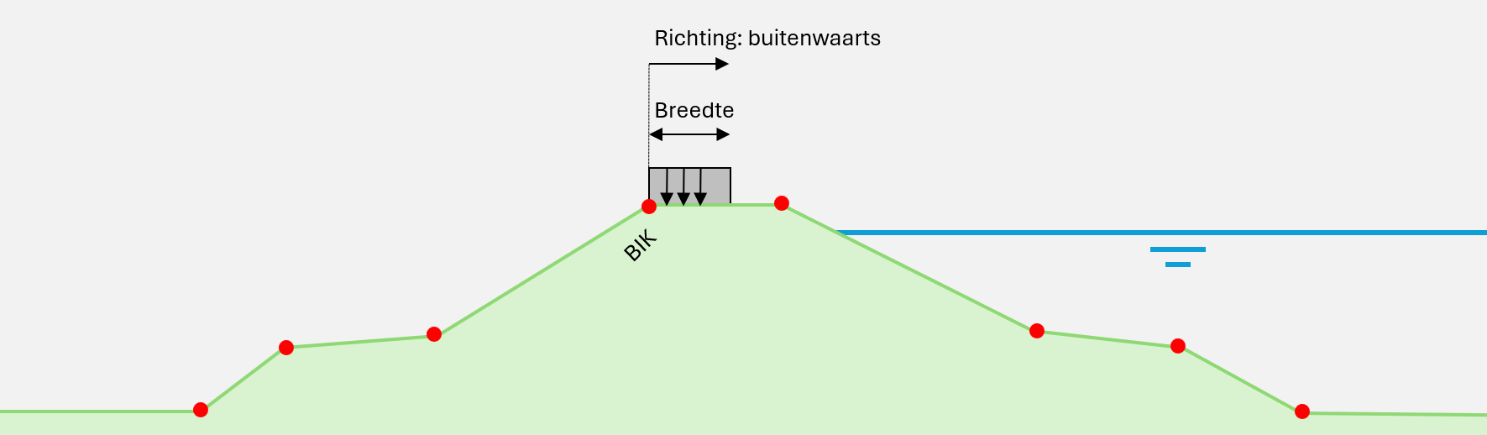
In het tabblad “Bekledingen” kunnen bekledingsprofielen opgesteld worden. Binnen een bekledingsprofiel kunnen meerdere bekledingen worden gespecificeerd. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om in één bekledingsprofiel een steenbekleding op het buitentalud, een wegverharding op de kruin en een kleibekleding op het binnentalud te schematiseren. Voor de invoer geldt het onderstaande:

* Iedere regel stelt een stuk bekleding voor.
* In de kolom “Naam bekledingsprofiel” wordt de naam van het bekledingsprofiel opgegeven.
* De bekledingen behorende tot één bekledingsprofiel hebben alle dezelfde naam in de kolom “Naam bekledingsprofiel”. De tool herkent zo welke bekledingen bij elkaar horen.
* In de kolom “Van punt” en “Tot punt” worden de karakteristieke punten opgegeven waartussen de betreffende bekleding zich bevindt. De volgorde van de karakteristieke punten maakt niet uit.
* In de kolom “Dikte” wordt de dikte van de bekleding opgegeven. De dikte wordt haaks op het maaiveld toegepast.
* In de kolom “Grondsoort” wordt de grondsoort opgeven. Er kan gekozen worden uit de grondsoorten zoals opgegeven in het tabblad “Sterkteparameters”.

## Belasting

In het tabblad “Belasting” worden uniforme belastingen gedefinieerd. De plaatsing van een belasting in het dwarsprofiel wordt bepaald door de positie, richting en breedte. Een voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 3.2. Voor de invoer van het tabblad geldt het volgende:

* Iedere regel stelt een belasting voor.
* In kolom “Naam belasting” wordt de naam van de belasting opgegeven. Kies hiervoor per belasting een unieke naam.
* In de kolom “Grootte” wordt de grootte van de belasting opgegeven.
* In de kolom “Spreiding” wordt de spreiding van de belasting opgegeven.
* In de kolom “Breedte” wordt de breedte van de belasting opgegeven.
* Een uniforme belasting is met twee punten te definiëren. In de kolom “Positie” wordt één van de twee punten aangegeven. Hiervoor kan gekozen worden uit de karakteristieke punten.
* In de kolom “Richting” wordt aangegeven in welke richting de belasting wordt geplaatst ten opzichte van het punt aangegeven in “Positie”. Er kan gekozen worden uit “Binnenwaarts” en “Buitenwaarts”. Zie het voorbeeld in figuur 3.2. De binnenkruin (BIK) is aangemerkt als de positie. Voor de richting is “Buitenwaarts” opgegeven. Het tweede punt ligt zodoende buitenwaarts van de binnenkruin.
* Het eerste punt is beperkt tot de beschikbare karakteristiek punten. Een verplaatsing ten opzichte van een karakteristiek punt is niet geïmplementeerd.
* Als gevolg van een verkeersbelasting kan er wateroverspanning in de ondergrond ontstaan. De wateroverspanning als gevolg van een belasting is per grondsoort te schematiseren. Zie hiervoor paragraaf 3.4.



figuur 3.2: Schematisering uniforme belasting - Voorbeeld: positie is de binnenkruin (BIK) en de richting is buitenwaarts

## Waterspanningen

In het tabblad “Waterspanningen” worden de freatische lijnen, stijghoogtelijnen en referentielijnen opgegeven. Voor de invoer geldt het volgende:

* *Het creëren van de invoer voor het tabblad “Waterspanningen” moet op dit moment handmatig. Het automatisch genereren van de waterspanningen is onderdeel van een volgende ontwikkelstap.*
* Iedere regel stelt een lijn voor. Dit kan een stijghoogtelijn of een referentielijn zijn.
* Een D-Stability berekening kan meerdere lijnen per stage hebben. Ook kunnen berekeningen meerdere stages per scenario en scenario’s per berekening hebben. Tot welke berekening, scenario en stage een lijn behoort is aangegeven in de kolommen “Berekening”, “Scenario” en “Stage”.
* Het type van iedere lijn wordt aangegeven in de kolom “Type”. Er zijn twee types: ‘Stijghoogtelijn’ en ‘Referentielijn’.
* De naam van een stijghoogtelijn of referentielijn wordt opgegeven in de kolom “Naam”.
* De freatische lijn is ook een stijghoogtelijn. Deze wordt door de tool herkent aan de naam ‘Freatisch’. Deze naam moet daarom exact overeenkomen.
* Per referentielijn moet aangegeven worden welke stijghoogte van toepassing is:
  + De stijghoogte aan de bovenzijde van de referentielijn wordt opgegeven in de kolom “PL‑lijn bovenzijde”. Invoer van deze kolom is voor iedere referentielijn verplicht.
  + De stijghoogte aan de onderzijde van de referentielijn wordt opgegeven in de kolom “PL‑lijn onderzijde. Invoer van deze kolom is optioneel.
* Een stijghoogtelijn heeft alleen effect als deze aan de referentielijn gekoppeld is. Een uitzondering hierop is de freatische lijn. Deze is automatisch gekoppeld aan het maaiveld.
* De punten waaruit de lijn bestaat worden opgegeven vanaf kolom “L1”. De punten worden opgegeven in 2D (L, Z). Deze worden achtereenvolgend opgegeven (L1, Z1, L2, Z2, ….).
* Iedere lijn heeft minimaal één punt. Indien één punt aanwezig is wordt er in D-Stability een lijn over het gehele dwarsprofiel met de hoogte van dit punt gemaakt. Dit doet D-Stability zelf en is ook mogelijk met D-Stability.
* Bij gebruik van de waterspanningen moet iedere stage minstens één stijghoogtelijn hebben. Anders geeft de tool een foutmelding. Het is dus belangrijk dat de namen van de berekeningen, scenario’s en stages overeenkomen met het tabblad “Berekeningen”. Het gebruik van de waterspanningen kan uitgezet worden met behulp van het tabblad “Instellingen”. Zie hiervoor paragraaf 3.1.

## Gridinstellingen

In het tabblad “Gridinstellingen” worden de glijvlakinstellingen en -beperkingen (zonering) opgegeven. De invoer is opgedeeld in een aantal secties. Iedere sectie is onderstaand in een paragraaf toegelicht.

### Algemeen

* Iedere regel stelt een D-Stability “Calculation” voor. Dat zijn glijvlakinstellingen voor één glijvlakmodel met eventueel glijvlakrestricties met betrekking tot intrede en diepte. In D-Stability kunnen er per scenario meerdere worden aangemaakt en doorgerekend.
* In de kolom “Naam set” wordt de naam van de set met gridinstellingen opgegeven. Door meerdere regels dezelfde “Naam set” te geven is het mogelijk om meerdere glijvlakinstellingen per scenario toe te passen. De naam van de set wordt per scenario opgegeven in het tabblad “Berekeningen”
* In de kolom “Naam gridinstelling” wordt de naam van de grindinstelling opgegeven. Deze wordt gebruikt in D-Stability. Kies voor iedere gridinstelling binnen de set een unieke naam.
* In de kolom “Model” wordt het glijvlakmodel opgegeven. Er is keuze uit:
  + ‘Uplift Van’: Dit betreft Uplift Van Particle Swarm;
  + ‘Bishop’: Dit betreft Bishop Brute Force.
* Het is niet mogelijk om een enkel glijvlak of het model Spencer toe te passen.

### Bishop

In figuur 3.3 is een voorbeeld van de plaatsing van een Bishop rekengrid gepresenteerd. Voor de invoer geldt het onderstaande:

* In de kolom “Positie grid” wordt aangegeven welk karakteristiek punt als referentie dient voor het plaatsen van het rekengrid. In het voorbeeld is dit ‘Kruin binnentalud’.
* In de kolom “Richting” wordt aangegeven in welke richting het grid wordt uitgezet. In het voorbeeld is dit ‘Binnenwaarts’. Het grid wordt daardoor aan de binnenwaartse zijde van ‘Kruin binnentalud’ geplaatst.
* In de kolom “Offset grid horizontaal” wordt een horizontale verplaatsing ten opzichte van “Positie grid” opgegeven. De offset is positief in de opgegeven richting. In het voorbeeld is de richting binnenwaarts. De opgegeven waarde voor de offset is dus positief.
* In de kolom “Offset grid verticaal” wordt een verticale verplaatsing ten opzichte van “Postitie grid” opgegeven. De offset is opwaarts positief.
* De offsets worden toegepast vanaf “Positie grid” tot de dichtstbijzijnde hoek aan de onderzijde van het grid. In het voorbeeld is dit de rechterkant van het grid. In het geval dat de richting ‘Buitenwaarts’ is, dan geldt de afstand hoek linksonder.
* In de kolommen “Aantal gridpunten horizontaal” en “Aantal gridpunten verticaal” wordt opgeven hoeveel gridpunten er worden toegepast.
* In de kolom “Dichtheid gridpunten” wordt ingevuld hoeveel gridpunten er binnen een meter vallen.
* De hoogte en de breedte van het grid worden bepaald door het aantal punten en de dichtheid. Een grid van 21 x 21 punten met een dichtheid van 2 punten per meter levert een grid van 10 m x 10 m.
* In de kolom “Positie tangentlijnen” wordt opgegeven welk karakteristiek punt geldt als referentie voor de plaatsing van de tangentlijnen. Alleen de hoogte van het karakteristiek punt is relevant. De horizontale plaatsing van de tangentlijnen wordt namelijk bepaald door D-Stability op basis van het grid. In het voorbeeld is ‘Teen dijk binnenwaarts’ de positie.
* In de kolom “Offset tangentlijnen verticaal wordt een verticale verplaatsing ten opzichte van de positie opgegeven. De offset is opwaarts positief. In het voorbeeld is een negatieve offset opgegeven om de tangentlijnen onder het karakteristieke punt te plaatsen.
* In de kolom “Aantal tangentlijnen” wordt opgegeven hoeveel tangentlijnen er geplaatst worden.
* In de kolom “Dichtheid tangentlijnen” wordt opgegeven hoeveel tangentlijnen er per meter geplaatst worden.
* De hoogte van het tangentlijnenvlak wordt bepaald door het aantal tangentlijnen en de dichtheid. Een aantal van 11 met een dichtheid van 2 levert een hoogte van 5 m op voor het tangentlijnenvlak.
* In de kolom “Grid verplaatsten” wordt opgegeven of D-Stability het rekengrid mag verplaatsen indien het maatgevende glijvlak mogelijk buiten de instellingen gevonden kan worden. Dit is een D-Stability rekeninstelling.

Afbeelding met tekst, diagram, schermopname, lijn

Door AI gegenereerde inhoud is mogelijk onjuist.

figuur 3.3: Voorbeeld gridinstellingen Bishop voor STBI

### Uplift Van

De plaatsing van de rekengrids voor Uplift Van gaat grotendeels op dezelfde manier als bij het Bishop rekengrid, toegelicht in de vorige paragraaf. Met uitzondering van onderstaande:

* Uplift Van gebruikt twee rekengrids, de instellingen voor de plaatsing van de grids worden daarom twee keer opgegeven.
* Uplift Van werkt niet met vaste gridpunten. Voor de grids wordt daarom expliciet een hoogte en breedte opgegeven.
* Uplift Van werkt niet met vaste tangentlijnen. Voor het ‘tangentvlak’ wordt daarom expliciet een hoogte opgegeven.
* In de kolom “Zoekmodus” wordt de D-Stability rekeninstelling “Search Mode” opgegeven. Net als in D-Stability kan gekozen worden voor ‘Thorough’ en ‘Normal’.

### Randvoorwaardes glijvlak

In D-Stability kunnen beperkingen aan de intrede, uittrede en diepte van het glijvlak worden gesteld. Een voorbeeld van de plaatsing van in- en uittredezones is gepresenteerd in figuur 3.4. Voor de invoer hiervan geldt het volgende:

* In de kolom “Minimale glijvlak dimensies” wordt aangegeven of er minimale dimensies voor het glijvlak gehanteerd moeten worden. Als gekozen is voor “Ja” dan zijn de kolommen “Minimale glijvlakdiepte” en “Minimale glijvlaklengte” verplichte invoer. Bij “Nee” worden deze genegeerd en kunnen ze leeg gelaten worden.
* In de kolom “Minimale glijvlakdiepte” wordt de minimale glijvlakdiepte opgegeven.
* In de kolom “Minimale glijvlaklengte” wordt de minimale glijvlaklengte opgegeven.
* In de kolom “In-/uittredezone A toepassen” wordt aangegeven of de in-/uittredezone die is aangeduid met ‘A’ toegepast moet worden. Als gekozen is voor “Ja” dan moet er invoer opgegeven worden voor de kolommen “Positie zone A”, “Richting zone A” en “Breedte zone A”. Als gekozen is voor “Nee” dan worden deze kolommen genegeerd en kunnen ze leeg gelaten worden.
* In de kolom “Positie zone A” wordt met een karakteristiek punt het startpunt van de in-/uittredezonde aangeduid. In het voorbeeld is dit ‘Teen dijk binnenwaarts’.
* In de kolom “Richting zone A” wordt aangegeven in welke richting de zone wordt uitgezet. In het voorbeeld is de richting ‘Binnenwaarts’. De zone wordt daarom aan de binnenwaartse zijde van ‘Teen dijk binnenwaarts’ geplaatst.
* In de kolom “Breedte zone A” wordt de breedte van de zone opgegeven.
* Voor de invoer van zone B geldt hetzelfde als voor de zone A. Zie hiervoor de bovenstaande punten.
* Het maakt niet uit wat als zone A of zone B wordt gehanteerd.

Afbeelding met diagram, tekst, lijn, Plan

Door AI gegenereerde inhoud is mogelijk onjuist.

figuur 3.4: Voorbeeld zonering

## Berekeningen

In het tabblad “Berekeningen” wordt alle invoer uit de overige tabbladen samengesteld om D-Stability berekeningen te schematiseren. Voor de invoer geldt het volgende:

* Iedere regel stelt een stage voor.
* In de kolom “Naam” wordt de naam van de berekening opgegeven waartoe de stage behoort.
* In de kolom “Scenario” wordt de naam van het scenario opgegeven waartoe de stage behoort.
* In de kolom “Stage” wordt de naam van de stage opgegeven.
* Iedere berekening moet minimaal één stage hebben. Een stage valt altijd onder een scenario.
* Aan de hand van de naam van de berekening en scenario’s weet de tool welke stages bij elkaar horen. In figuur 3.5 is een voorbeeld gegeven. Dit betreft één berekening met twee scenario’s. Het scenario ‘Basis’ heeft twee stages ‘Dagelijks’ en ‘Norm’. Het scenario ‘Val na HW’ heeft de stages ‘Dagelijks’, ‘Norm’ en ‘Val na HW’.
* Gebruik per berekening een unieke naam. De tool voegt alle stages met dezelfde waarde in de kolom “Naam” samen.



figuur 3.5: Voorbeeld van berekening met twee scenario's

* In de kolom “Geometrie” wordt het dwarsprofiel geselecteerd. Er kan gekozen worden uit de dwarsprofielnamen zoals opgegeven in het tabblad “Dwarsprofielen”. De karakteristieke punten hoeven niet opgegeven te worden. Deze worden op basis van de naam automatisch bij de dwarsprofielen gezocht. Zie ook paragraaf 3.3.
* In de kolom “Bodemopbouw” wordt de te hanteren bodemopbouw geselecteerd. Er kan gekozen worden uit de namen zoals opgegeven in het tabblad “Bodemopbouw”.
* In de kolom “State points toepassen” wordt aangegeven of er in de betreffende stage state points moeten worden geplaatst. Bij ‘Ja’ wordt per grondlaag een state point toegevoegd waarbij een waarde voor de belastinggeschiedenis wordt toegevoegd zoals opgegeven in het tabblad “Sterkteparameters”. Zie paragraaf 3.4 voor het opgeven van deze eigenschappen per grondsoort. De achtergrond bij het plaatsen van de state points is gegeven in paragraaf 4.4.
* In de kolom “Bekledingsprofiel” wordt opgegeven welk bekledingsprofiel van toepassing is. Er kan gekozen worden uit de bekledingsprofielen zoals opgegeven in het tabblad “Bekleding”. De invoer is optioneel. Als er niets is ingevuld wordt er geen bekleding toegepast.
* In de kolom “Belasting” wordt een uniforme belasting opgegeven. Er kan gekozen worden uit de belastingen zoals opgegeven in het tabblad “Belasting”. De invoer is optioneel. Als er niets is ingevuld wordt er geen belasting toegepast. Er kan maximaal één uniforme belasting per berekening worden toegepast.
* In de kolom “Gridinstellingen” wordt de set met glijvlakinstellingen gekozen. Er kan gekozen worden uit de instellingen zoals opgegeven in het tabblad “Gridinstellingen”. Het uitvoeren van berekeningen gaat in D-Stability per scenario. Per scenario wordt alleen de laatste stage berekend. Per scenario kan daarom maar één set aan gridinstellingen worden toegepast. Als er meerdere sets zijn opgegeven dan geeft de tool een foutmelding. Het maakt niet uit bij welke stage de gridinstellingen geselecteerd worden.

# Technische documentatie

## Geometrie

### Het L-coördinaat

Het opstellen van een dwarsprofiel gebeurt veelal met behulp van het AHN in combinatie met een dwarsprofiellijn. Dit resulteert in een set aan punten met een X-, Y-, en Z-waarde. Waarbij de X en Y de RD‑coördinaten zijn en Z de hoogte is. Voor gebruik in D-Stability worden de X- en Y-coördinaten omgerekend naar coördinaten in de richting van het dwarsprofiel. Het resultaat wordt het L-coördinaat genoemd (lengte-coördinaat). Details over het berekenen en de richting van de L-as zijn gegeven in paragraaf 4.1.

* Berekenen l-coördinaat, hanteren nulpunt, buitenwater rechts/links

## Bodemopbouw

* Bodemprofiel vs. bodemopbouw

Plaatje van ondergrond en l-coördinaten

## Stijghoogte

### Offset methode

* Alle karakteristieke punten zijn te gebruiken. Als voor een profiel een karakteristiek punt ontbreekt dan wordt deze genegeerd.
* Bij het genereren van de waterstanden en stijghoogtes wordt altijd gewerkt van buitenwaarts naar binnenwaarts. Het opgeven van “Verhang t.o.v. voorgaand punt” is daarmee het eerste beschikbare punt aan de buitenwaartse zijde van het punt waarvoor dit is ingevoerd.

**Verhang t.o.v. voorgaand punt**

* Positief is neerwaarts. Op te geven waarde is X, helling is 1:X.

### Afleiden uit ander scenario

Het volgende geldt voor het gebruik van de methode “Afleiden uit ander scenario”:

* De stijghoogtelijn waarop de methode toegepast wordt kan slechts aan één referentielijn toegekend worden.
* De stijghoogte kan alleen gebaseerd worden op een voorgaande stage. Het is niet mogelijk een stage op te geven die na de betreffende stage komt.
* De stijghoogte waarop deze methode wordt toegepast kan niet toegekend worden aan een referentielijn die is geschematiseerd op basis van een watervoerende (tussen) laag.

Technische details

* De resulterende lijn wordt vereenvoudigd. Punten die binnen een tolerantie van 0,01 m vallen worden verwijderd. Dit voorkomt een stijghoogtelijn met onnodig veel punten.

## Freatische lijn

### Open water

**Snijpunt waterstand met buitentalud**

* Om te zorgen dat het wateroppervlak aan de buitenwaartse zijde horizontaal verloopt bepaalt de tool het snijpunt van de waterstand met het buitentalud. Als dit snijpunt aanwezig is dan wordt deze toegevoegd aan de freatische lijn. De tool zoekt naar dit snijpunt vanaf “Kruin buitentalud” in de buitenwaartse richting. Op deze manier wordt het meest binnenwaartse snijpunt gehanteerd. Wanneer er meerdere snijpunten zijn, bijvoorbeeld met een hooggelegen voorland, worden deze snijpunten genegeerd. Als waterstand wordt het peil gehanteerd zoals opgegeven bij het karakteristieke punt “Maaiveld buitenwaarts”. Een aandachtpunt is het definiëren van de freatische lijn bij de karakteristieke punten buitenwaarts van de buitenkruinlijn, bijvoorbeeld de buitenberm of buitenteen. Als bij deze punten een andere hoogte voor de freatische lijn is gedefinieerd dan bij “Maaiveld buitenwaarts”, en het snijpunt met het buitentalud ligt binnenwaarts van dit punt, dan resulteert dit in een niet-horizontaal wateroppervlak. Het wordt daarom aanbevolen om geen hoogte voor de freatische lijn bij deze punten te definiëren.
* Als het maaiveld bij “Kruin buitentalud” en buitenwaarts hiervan lager is gelegen van de waterstand dan wordt er geen snijpunt gevonden. In dit geval worden de opgegeven freatische lijn zonder snijpunt toegepast. Dit resulteert mogelijk in een niet-horizontaal wateroppervlak.

**Snijpunt waterstand binnenwaarts**

* Om te zorgen dat een eventueel vrij wateroppervlak aan de binnenwaartse zijde horizontaal verloopt kijkt de tool of er een snijpunt te vinden is tussen de binnenwaartse waterstand en het maaiveld. Voor de waterstand wordt de freatische lijn bij het karakteristieke punt “Maaiveld binnenwaarts” gehanteerd. De tool zoekt naar dit snijpunt vanaf “Maaiveld binnenwaarts” tot “Kruin binnentalud” in de buitenwaartse richting. Op deze manier wordt het meest binnenwaartse snijpunt gehanteerd. Wanneer er meerdere snijpunten zijn, worden deze snijpunten genegeerd.

**Freatische lijn in de teensloot**

* Tussen de karakteristieke punten

**Aandachtspunt:**

Het wordt aanbevolen om de freatische lijn NIET te definiëren bij de karakteristieke punten tussen de buitenkruinlijn en maaiveld buitenwaarts. Het hanteren van een ander freatisch peil bij deze punten kan leiden tot een niet-horizontaal wateroppervlak.

### Minimale offset met maaiveld

* Het is mogelijk om voor de freatische lijn een minimale offset (afstand) tot het maaiveld te hanteren. Deze correctie wordt toegepast tussen de twee opgegeven karakteristieke punten. Een uitzondering hierop is vrij wateroppervlak. Hier wordt de correctie niet toegepast. Dit
* Aanbevelen om als offset nul te gebruiken. Wanneer een correctie (a.g.v. de offset) namelijk van toepassing is bij de grenzen van correctiezones (wat vaak zo is, bv. bij teensloot en snijpunten van waterstand met profiel) dan treden er sprongen op. Goede controle van een logische freatische lijn is nodig bij gebruik van een offset. Actie is om een extra punt te bepalen op de freatische lijn (snijpunt met offset lijn) en die toe te voegen aan de freatische lijn en te hanteren als grens voor de correctiezone. Indien geen snijpunt dan ‘nearest’.

**Voorbeelden**

* Val na hoogwater: Gebruik van een grote offset i.c.m. het maximeren van de freatische lijn in het dijklichaam.

## Referentielijn

**Aanduiding watervoerende laag**

Lagen worden in de bodemopbouw aangeduid als watervoerende laag. Deze als watervoerend behandeld als een laag aan bepaalde voorwaarden voldoet:

* De laag loopt van het begin tot het eind van de bodemopbouw.
* Indien dit niet het geval moeten de volgende twee voorwaarden gelden:
  + De laag loopt niet van begin tot eind van de bodemopbouw, doordat deze snijdt met het maaiveld (bijvoorbeeld een teensloot of het buitenwater). Wanneer hier niet aan wordt voldaan volgt een foutmelding. De laag is dan geen valide watervoerende laag.
  + De laag loop onder de dijk door. Hiervoor wordt als referentiepunt “Kruin binnentalud” genomen. Wanneer hier niet aan wordt voldaan wordt de laag niet als watervoerend geschematiseerd.

De tool maakt onderscheid tussen de (diepe) watervoerende laag en watervoerende tussenlagen.

* In het geval van meerdere watervoerende lagen wordt de diepste aangeduid als watervoerende laag. Alle overige lagen zijn watervoerende tussenlagen.

**Toelichting bepalen onderkant/bovenkant grondlaag**

**Metthode “Indringingslengte”**

* De indringingslengte wordt verticaal toegepast.
* Wanneer er referentielijnen worden geschematiseerd op basis van indringing vanaf watervoerende tussenzandlagen, de referentielijnen van de watervoerende tussenlagen zijn gebaseerd op basis van de watervoerendheid, en er meerdere tussenzandlagen aanwezig zijn, dan wordt de plaatsing van de referentielijnen gebaseerd op de opgegeven indringingslengte. Indien een positieve indringingslengte is opgegeven dan geldt deze vanaf de bovenkant van de bovenste watervoerende tussenlaag. Wanneer de indringingslengte negatief is, geldt deze vanaf de onderzijde van de onderste watervoerende tussenlaag. De referentielijnen op basis van indringing worden dus niet op meerdere watervoerende tussenlagen toegepast en kunnen niet tussen watervoerende tussenlagen worden toegepast. Dit is ook het geval wanneer de indringingslengte wordt gehanteerd op basis van een referentielijn waarvan er meerdere met dezelfde naam aanwezig zijn.

**Methode “Watervoerende (tussen)laag”**

* Een waterspanningsscenario moet methodes hebben voor watervoerende lagen wanneer deze aanwezig zijn in de bodemopbouw waarop het scenario van toepassing is. Bij aanwezigheid van één watervoerende laag dient er een methode te zijn voor de diepere zandlaag. Wanneer er twee of meer watervoerende lagen zijn dan moet er ook een methode voor tussenzandlagen opgegeven worden.

## State points

* Plaatsing state points in geval dat zwaartepunt buiten de grondlaag valt (sloot)

1. Bijlage