

Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen

BM – MACROSTABILITEIT

WTI2017



Basis Module Macrostabiliteit

Stand alone tool voor Macrostabiliteit binnenwaarts

Gebruikershandleiding

Wettelijk Toets Instrumentarium 2017

Versie: 1.2
SVN Revisie: 52589

29 september 2017

Basis Module
Macrostabiliteit, Gebruikershandleiding

Gepubliceerd en gedrukt door:

Deltares
Boussinesqweg 1
2629 HV Delft
Postbus 177
2600 MH Delft
Nederland

telefoon: +31 88 335 82 73
fax: +31 88 335 85 82
e-mail: info@deltares.nl
www: <https://www.deltares.nl>

Contact:

Helpdesk Water
Rijkswaterstaat WVL
Postbus 2232
3500 GE Utrecht

telefoon: +31 88 797 7102
www: <http://www.helpdeskwater.nl>

Copyright © 2017 Deltares

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd in enige vorm door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever: Deltares.

Inhoudsopgave

Lijst van figuren	v
Lijst van tabellen	vii
1 Inleiding	1
1.1 Versie	1
2 Gebruikersinterface	3
2.1 BM - Macrostabiliteit opstarten	3
2.2 Schermen en schermindeling	3
2.2.1 Menubalk	4
2.2.1.1 Bestandmenu	5
2.2.1.2 Beeldmenu	7
2.2.1.3 Project-menu	7
2.2.1.4 Menu Berekening	9
2.2.1.5 Gereedschap-menu	11
2.2.1.6 Help-menu	12
2.2.2 Werkbalk snelle toegang	12
2.2.3 In- en uitvoerscherm	13
2.2.4 Tabellen	14
2.2.4.1 Materialen, Lamellen en Materialen (uitvoer)	14
2.2.4.2 Validatie	15
2.2.4.3 Log	16
3 Werken met BM - Macrostabiliteit	17
3.1 Bestaand .MACX project openen en bewerken	17
3.2 Ondergrond importeren middels bestaand .SOIL project	17
3.2.1 Combineren 2D profielen met een hoogtedwarsprofiel	18
3.3 Rekeninstellingen	21
3.3.1 Verboden zone	22
3.3.2 Waarde (on)verzadigde gewichten	22
3.4 Gridinstellingen	24
3.5 Invoer waternet creator	25
3.5.1 Karakteristieke punten	26
3.5.2 Invoer waternet - stijghoogtelijnen	26
3.6 Werking waternet creator	30
3.6.1 Verloop van de freatische lijn	31
3.6.1.1 Bijzonderheden	32
3.6.2 Schematisatie van de stijghoogtelijnen	32
3.6.2.1 Schematisatie van stijghoogtelijn indringingslaag	33
3.6.2.2 Schematisatie van stijghoogtelijnen in aquifers	34
3.6.2.3 Controle op opdrijven	36
3.6.3 Schematisatie van de waternetlijnen en verticaal verloop waterspan- ningen	37
3.6.3.1 Waternetlijn onderste aquifer	37
3.6.3.2 Waternetlijn Indringingszone	38
3.6.3.3 Waternetlijn Tussenliggende aquifer	38
3.6.3.4 Waternetlijn freatische lijn	39
3.6.3.5 Verticaal verloop	41
4 Schuifsterktemodellen	43
4.1 Gedraineerd: C-Phi	43
4.2 Ongedraineerd: Su-berekend	44

4.2.1	Su-berekend met grensspanning	44
4.2.1.1	Procedure voor bepaling van de POP uit de lijst grensspan- ningspunten σ'_{vy} -metingen	45
4.2.2	Su-berekend met POP	45
4.2.3	Waternet onder dagelijkse omstandigheden	46
4.3	Schuifsterktemodel in lagen met de freatische lijn	46
5	Referenties	49
A	Bepaling van spanningsgrid	51
A.1	Knikpunten	51
A.2	Kolommen	51
A.3	Gebieden	52

Lijst van figuren

2.1	BM - Macrostabiliteit snelkoppelingsicoon op het bureaublad	3
2.2	BM - Macrostabiliteit in de startmenustructuur van Windows	3
2.3	Hoofdscherm bij het opstarten	4
2.4	Menubalk	4
2.5	Importeer geometrie	5
2.6	Importeer geometrie	6
2.7	Acceptatie van een importeer actie	6
2.8	Bevestigingsdialoog om wijzigingen op te slaan	6
2.9	Beeldmenu	7
2.10	Hulpwijzer	7
2.11	Rekeninstellingen	8
2.12	Gridinstellingen	8
2.13	Waternet-instellingen	9
2.14	Het Rekenen-menu	9
2.15	Validatie met fouten	10
2.16	Tabblad Uitvoer	10
2.17	Beeindigen van een berekening	11
2.18	De opties van BM - Macrostabiliteit openen	11
2.19	Selectievakje met keuzemogelijkheid	11
2.20	Het Help-menu	12
2.21	Werkbalk snelle toegang	12
2.22	Zoomopties en toon spanningen	13
2.23	Toon spanningen	13
2.24	Materialen (uitvoer)	15
2.25	Log tabel	16
3.1	Importeer geometrie	18
3.2	Combinatie 2D profiel met hoogtegeometrie (blauwe lijn)	19
3.3	Aanpassingen tijdens de combinatie	19
3.4	Verlengen laagscheidingen	20
3.5	Gegevens wijzigen	21
3.6	Verboden zone	22
3.7	Gegevens wijzigen	24
3.8	Karakteristieke punten die gebruikt worden in voor de schematisatie van de waterspanningen	26
3.9	Parameters voor de schematisatie van de waterspanningen	27
3.10	Schematisatie van freatische lijn door middel van offsets bij een kleidijk.	29
3.11	Schematisatie van freatische lijn door middel van offsets bij een zanddijk op klei.	29
3.12	Freatische lijn voor klei dijken (1A en 1B)	31
3.13	Freatische lijn voor zand dijken (2A)	32
3.14	Freatische lijn voor zand dijken (2B)	32
3.15	Schematisatie van de stijghoogtelijnen voor dijken op klei (geval 1A and 2A)	35
3.16	Schematisatie van de stijghoogtelijnen voor kleidijk op zand (geval 1B)	35
3.17	Reductie stijghoogte bij opdrijven. De Waternetcreator controleert van de binnenteen tot het einde van het profiel op opdrijven en past daarop de stijghoogte aan tot label evenwicht	37
3.18	Stijghoogtelijnen en waternetlijnen PL2 en PL3	38
3.19	Waternetlijnengebied tussenzandlaag (groene stippellijn) en waternetlijnen indringing (rode stippellijnen)	39
3.20	Waternetlijn 'Freatische zone bovenkant', gelijk aan hoogtegeometrie	39
3.21	Waternetlijn 'Freatische zone onderkant(2)'	40

3.22	Waternetlijnen PL1 (alle stippellijnen) Freatische zone onderkant (donkerblauwe lijn),	40
3.23	Voorbeeld 1	41
3.24	Voorbeeld 2	41
4.1	Schuifsterktemodel	43
4.2	Schuifsterktemodel afhankelijk van freatische lijn	47
A.1	Voorbeeld geometrie	51
A.2	Kolommen in de geometrie	51
A.3	Gebieden in geometrie	52
A.4	Voor elk gebied worden vier punten gedefinieerd	52

Lijst van tabellen

2.1	Sneltoetsen	4
2.4	Benodigde materiaalparameters	14
3.1	Rekeninstellingen	21
3.2	Handmatige gridinstellingen (met tangentlijnen:gespecificeerd)	25
3.3	De automatisch gecrëeerde punten van de freatische lijn	31
3.4	Overzicht stijghoogtelijnen	33
3.5	Punten van stijghoogtelijn PL2	33
3.6	Punten van stijghoogtelijnen PL3 en PL4	34
4.1	Verschil in offset voor schematisatie freatische lijn onder dagelijkse omstan- digheden	46

1 Inleiding

Het programma BM - Macrostabiliteit (BM = Basis Module) is ontwikkeld voor WTI 2017 en zal als een onderdeel dienen in Ringtoets. Ringtoets kan dit programma gebruiken om deterministisch of (semi-) probabilistisch de veiligheid met betrekking tot macro stabiliteit te bepalen. Het programma berekent de veiligheidsfactor van een grondlichaam met behulp van de evenwichtsmethode.

Het programma kent de volgende functionaliteiten:

- ◇ **Glijvlakmodel** : UpLiftVan, alleen binnenwaarts;
- ◇ **Profielen** : Er kan 1 profiel per keer worden ingelezen en berekend. (.SOIL of .MACX).
- ◇ **Grondlagen, grondeigenschappen en geometrie** : worden ingelezen vanuit D-Soil Model en zonodig aangepast in het D-Soil Model.
- ◇ **Waternet** : de waterspanningen worden automatisch gegenereerd aan de hand van door gebruiker opgegeven waarden.

Deze gebruikershandleiding bevat een omschrijving van de gebruikersinterface ([hoofdstuk 2](#)) en er wordt uitgelegd hoe te werken met BM - Macrostabiliteit in [hoofdstuk 3](#).

De gebruikershandleiding gaat niet in op:

- ◇ de inhoudelijke keuzen van de schematisering van de belasting en de sterkte. Hiervoor wordt verwezen naar de Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit [Deltares, 2016a].
- ◇ de theorie/achtergronden van glijvlakmodellen en schuifsterktemodellen. Hiervoor wordt verwezen naar het functioneel ontwerp [Deltares, 2016b]

BM - Macrostabiliteit is tot stand gekomen op basis van deelrapportages geschreven door specialisten op het gebied van de verschillende mechanismen. Deze deelrapportages zijn gereviewd door Rijkswaterstaat-WVL, waarna van deze deelrapportages een consistent achtergrondrapport bij het WTI 2017 is gemaakt. Inhoudelijke bedragen zijn geleverd door Alexander van Duinen, Raymond van der Meij (Deltares) en Bianca Hardeman (RWS). Het ontwikkeltraject is begeleid door Tom The en Irene van der Zwan (Deltares).

1.1 Versie

De eerste versie van de gebruikershandleiding was genummerd naar de versie van het programma (16.1.1). Vervolgens is een document versienummer aangehouden, te beginnen met 1.1. Onderliggende versie is 1.2.

Ten opzichte van de voorgaande versie zijn de volgende onderwerpen gewijzigd:

- ◇ **Rekeninstellingen**
Gebruik van 'Waarde (on)verzadigde volumieke gewichten', zie [paragraaf 2.2.4.1](#) en [paragraaf 3.3.2](#).
- ◇ **Schuifsterktemodel**
Afhankelijk van de ligging van de freatische lijn, kan het schuifsterktemodel worden aangepast, zie [paragraaf 4.3](#).
- ◇ **Interpolatie waterspanningen**
De wijze van interpolatie van stijghoogte van de freatische lijn over de laag kan nu opgeven worden in D-Soil Model. BM - Macrostabiliteit gebruikt deze voor de waternet generatie, zie [paragraaf 3.6.3.5](#).
- ◇ **Verbetering gebruik schuifsterktemodel Su berekend**
Voorheen werd bij de extrapolatie van de POP geen rekeningen gehouden met de effec-



tieve spanningen onder dagelijkse omstandigheden. De paragraaf 3.3 over schuifsterkte-modellen is aangepast naar [hoofdstuk 4](#).

◇ **Overige verbeteringen**

- [paragraaf 2.2.4.1](#) benodigde parameters toegevoegd.
- [paragraaf 3.5](#); uitleg van initiële hoogte onder de binnen- en buitenkruinlijn.
- [paragraaf 3.6](#); correctie van grens van de default offsets onder de binnen- en buitenkruinlijn (was Z_A , is nu respectievelijk $Z_{B;initial}$ en $Z_{C;initial}$).
- [paragraaf 3.6.2.3](#) uitleg controle op opdrijven verbeterd.

2 Gebruikersinterface

In dit hoofdstuk worden alle gebruikersinterface-componenten beschreven, beginnende met de algemene componenten zoals de menubalk en het openen- en sluiten van projecten. Voor de inhoudelijke context wordt verwezen naar de schematiseringshandleiding Macrostabiliteit [Deltares, 2016a].

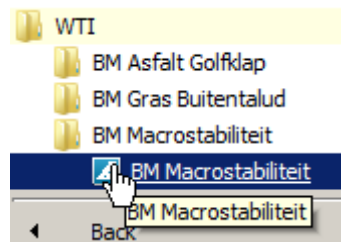
2.1 BM - Macrostabiliteit opstarten

In dit hoofdstuk worden alle gebruikersinterfacecomponenten beschreven, beginnende met de algemene componenten zoals de menubalk en het openen- en sluiten van projecten. Van deze componenten wordt de basisfunctionaliteit beschreven.



Figuur 2.1: BM - Macrostabiliteit snelkoppelingsicoon op het bureaublad

Er wordt ook een snelkoppeling aangemaakt in het startmenu van Windows. Deze is te vinden in Startmenu → Alle programma's → WTI → BM Macrostabiliteit → BM Macrostabiliteit:

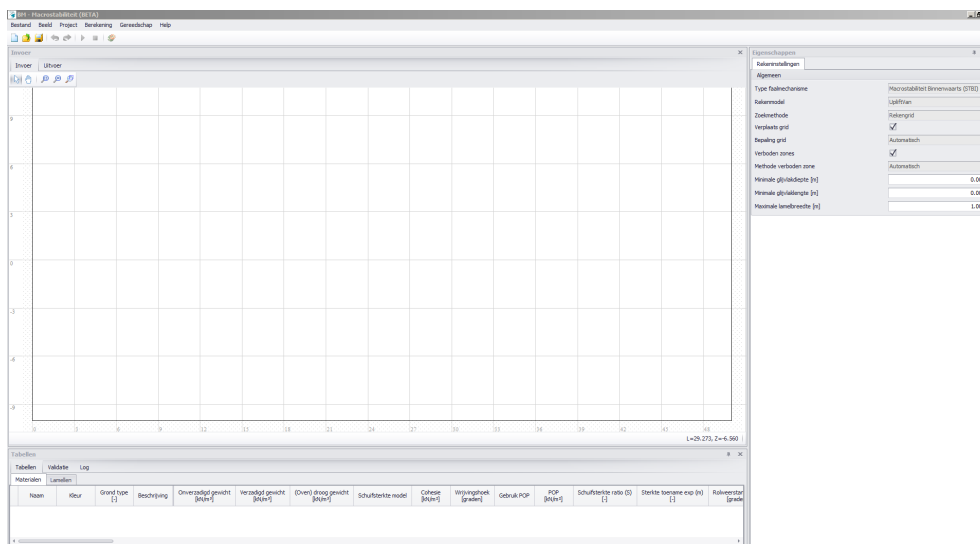


Figuur 2.2: BM - Macrostabiliteit in de startmenustructuur van Windows

Nadat het programma geïnstaleerd is, is deze snelkoppeling te vinden onder het startmenu.

2.2 Schermen en schermindeling

Als BM - Macrostabiliteit wordt opgestart dan verschijnt een menubalk (paragraaf 2.2.1), een werkbalk snelle toegang (paragraaf 2.2.2), een in- en uitvoerscherm (paragraaf 2.2.3), eigenschappen- en tabellenscherm. Het programma opent met een leeg project (figuur 2.3).



Figuur 2.3: Hoofdscherm bij het opstarten

2.2.1 Menubalk



Figuur 2.4: Menubalk

De menubalk geeft toegang tot algemene programmafunctionaliteit. De functies zijn ingedeeld in sub-menus die volgens de standaard Windows manier toegankelijk zijn. De menubalk kent de volgende items:

- ♦ **Bestand:** bestandsbeheer ([Paragraaf 2.2.1.1](#)).
- ♦ **Beeld:** beheer van schermen ([Paragraaf 2.2.1.2](#)).
- ♦ **Project:** beheer van projecten ([Paragraaf 2.2.1.3](#)).
- ♦ **Berekening:** invoer valideren en berekenen maken ([Paragraaf 2.2.1.4](#)).
- ♦ **Gereedschap:** programma opties en weergave van eenheden ([Paragraaf 2.2.1.5](#)).
- ♦ **Help:** productinformatie zoals versienummer ([Paragraaf 2.2.1.6](#)).

Met behulp van de sneltoetsen zijn bepaalde items direct benaderbaar:

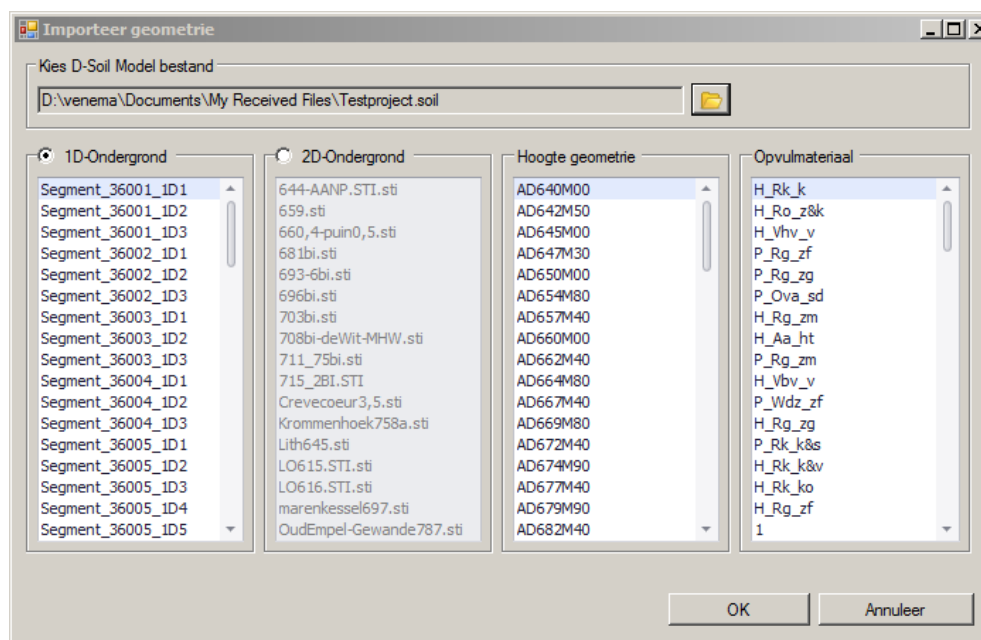
Item	Sneltoets
Bestand Nieuw	CTRL-N
Bestand Openen	CTRL-O
Bestand Opslaan	CTRL-S
Bestand Opslaan als	F12
Bestand Afsluiten	ALT-F4
Beeld Herstel	CTRL-SHIFT-R
Berekening Start	F9

Tabel 2.1: Sneltoetsen

2.2.1.1 Bestandmenu

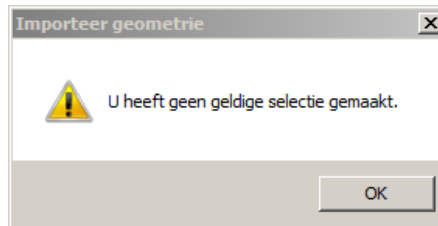
Het beheren van projecten binnen BM - Macrostabiteit wordt uitgevoerd door gebruik te maken van de volgende opties:

- ◇ Nieuw
Verwijdert alle gegevens uit het huidige project en opent een leeg project.
- ◇ Openen
Opent het dialoogvenster om een bestand te kiezen waaruit alle gegevens ingelezen zullen worden. Tijdens de installatie van het programma worden er benchmarks van Macrostabiteit opgeslagen, die gebruikt kunnen worden. Deze staan in documents\Public Documents\WTI\DikesMacrostabiteit (BM - Macrostabiteit)\Voorbeelden. Er zijn 6 voorbeelden meegeleverd.
- ◇ Opslaan
Bewaart alle gegevens van het huidige project in een bestand. Als het project nog nooit opgeslagen is, dan wordt de naam van het bestand gevraagd. Als het project al opgeslagen is, dan wordt die zelfde naam gebruikt en de inhoud van het bestand wordt overschreven.
- ◇ Opslaan als
Bewaart alle gegevens van het huidige project. De gebruiker kan hierbij de locatie, waar het project wordt opgeslagen, zelf kiezen. (Mits de gebruiker schrijfrechten heeft voor deze locatie). De naam van het bestand wordt altijd gevraagd. Als er voor een bestaande bestandsnaam wordt gekozen, dan worden alle gegevens overschreven.
- ◇ Importeren
Er kan een geometrie (.soil bestand) uit D-Soil Model ingeladen worden:



Figuur 2.5: Importeer geometrie

Er kan gekozen worden tussen of een 1D-ondergrond en 2D-ondergrond (indien beschikbaar), en 2 verplichte velden: hoogte geometrie en opvulmateriaal. De lijst die in [figuur 2.5](#) wordt gepresenteerd is lang; het betreffende project heeft veel aanwezige profielen en materiaalsoorten. De lijst wordt hiervan automatisch gegenereerd. (zie gebruikershandleiding D-Soil Model, [Deltares, 2016c]). Een D-Soil Model-bestand zonder hoogte geometrie (met bijbehorende karakteristieke punten) of zonder opvulmateriaal kan niet ingeladen worden, en een popup verschijnt:



Figuur 2.6: Importeer geometrie

Wanneer de keuze wel door BM - Macrostabiliteit wordt geaccepteerd dan geeft het programma eerst een samenvatting, met de vraag of u wilt doorgaan:

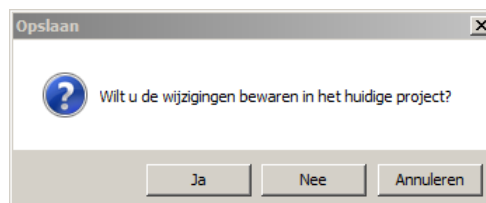


Figuur 2.7: Acceptatie van een importeer actie

◇ Afsluiten

Sluit het programma af. Indien er wijzigingen zijn gedaan, zonder dat deze opgeslagen zijn, wordt hier alsnog om gevraagd. Anders sluit het programma direct.

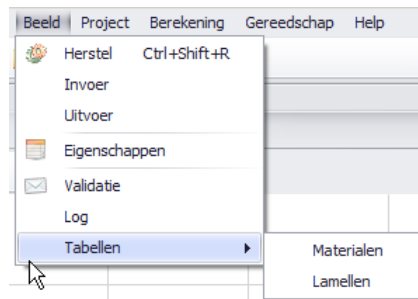
BM - Macrostabiliteit weet op elk moment of er nog niet opgeslagen wijzigingen in een project zijn. Als deze wijzigingen verloren kunnen gaan (bijvoorbeeld omdat de gebruiker een nieuw project probeert op te starten, of BM - Macrostabiliteit probeert af te sluiten), dan komt er automatisch een dialoogvenster naar boven met een waarschuwing en het aanbod om alle wijzigingen op te slaan.



Figuur 2.8: Bevestigingsdialoog om wijzigingen op te slaan

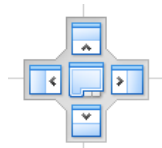
2.2.1.2 Beeldmenu

Dit tabblad biedt de mogelijkheid om de zichtbaarheid van de schermen te beheren. Als een scherm verborgen is, bijvoorbeeld omdat er eerder op het kruisje is geklikt, dan kan hier het scherm weer zichtbaar worden gemaakt. Voor elk scherm is een herstelknop te vinden. Het is ook mogelijk om de standaard opmaak weer in te stellen (Herstel).



Figuur 2.9: Beeldmenu

Het koppelen en het verplaatsen van schermen maakt het mogelijk om op een overzichtelijke manier verschillende schermen naast elkaar te organiseren zoals gewenst. Elk scherm kan eenvoudig aangepast worden aan de persoonlijke voorkeuren door de schermen op een gewenste manier te koppelen. Dit is mogelijk door een scherm met de linker muisknop te slepen en los te laten links, rechts, boven of onder door middel van een hulpwijzer (zie: [figuur 2.10](#)). Er kan ook worden gekozen om een scherm los van het hoofdscherm weer te geven (zwevend, bijvoorbeeld op een tweede monitor).



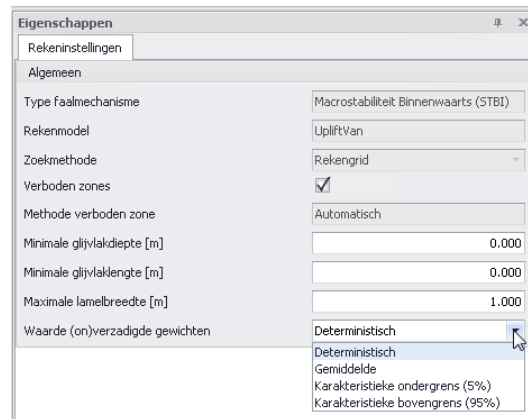
Figuur 2.10: Hulpwijzer

2.2.1.3 Project-menu

Het Project-menu heeft 3 sub-menu's:

1 Rekeninstellingen

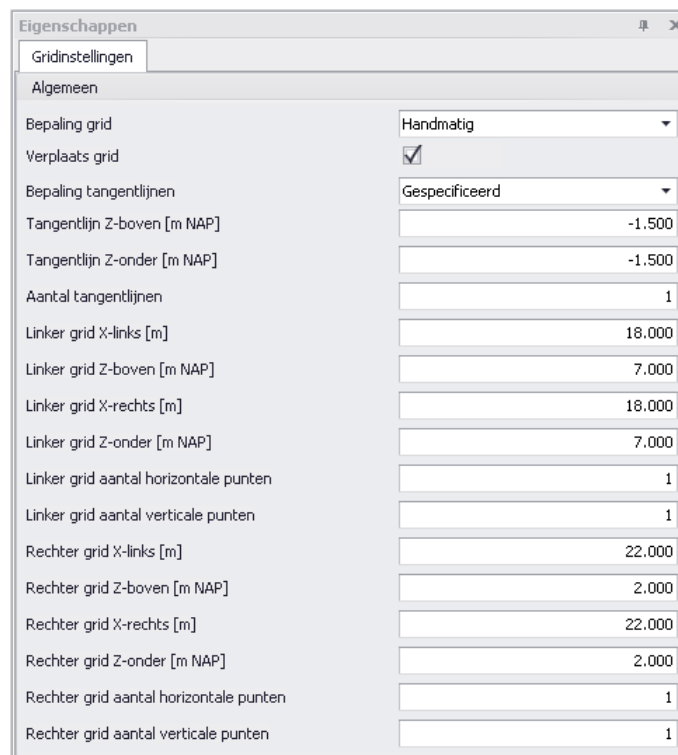
De Rekeninstellingen zijn zichtbaar in het Eigenschappen-scherm (als het Eigenschappen-scherm geopend is), zie [figuur 2.11](#). De gegrijsde items zijn niet te bewerken. De rekeninstellingen worden uitgelegd in [paragraaf 3.3](#)



Figuur 2.11: Rekeninstellingen

2 Gridinstellingen

De gridinstellingen zijn zichtbaar in het Eigenschappen-scherm (als het Eigenschappen-scherm geopend is), zie [figuur 3.7](#). De gridinstellingen worden uitgelegd in [paragraaf 3.4](#)



Figuur 2.12: Gridinstellingen

3 Waternet

De Waternet Creator is een hulpmiddel in BM - Macrostabiliteit (de rekenkernel van macrostabiliteit) om op eenduidige manier de waterspanningen te schematiseren. Hierbij wordt aangesloten bij de schematisering van waterspanningen die wordt aanbevolen in het TR Waterspanningen bij Dijken (TAW, 2004). Deze schematisering is afhankelijk van het dijkttype (klei op klei, klei op zand, zand op klei of zand op zand). De Waternet Creator wordt uitgelegd in [paragraaf 3.5](#).

Eigenschappen

Waternet

Algemeen

Waternet aanmaak methode: Genereer waternet autom...

Dijk/bodem materiaal: Klei dijk op klei (geval 1A)

Buitenwaterstand [m NAP]:

Gemiddeld hoog water (GHW) [m NAP]:

Polderpeil / slootpeil [m NAP]:

Aanwezigheid drainage: ☐

PL 1 initiële hoogte onder buitenkruin [m NAP]:

PL 1 initiële hoogte onder binnenkruin [m NAP]:

Gebruik default waarden voor offsets van PL 1: ☐

PL 1 offset onder buitenkruin [m]:

PL 1 offset onder binnenkruin [m]:

PL 1 offset onder insteek binnenberm [m]:

PL 1 offset onder teen dijk binnenwaarts [m]:

PL 3 en PL 4 voor opbarsten: ☒

Leklengte buitenwaarts PL 3 [m]:

Leklengte binnenwaarts PL 3 [m]:

Leklengte buitenwaarts PL 4 [m]:

Leklengte binnenwaarts PL 4 [m]:

Stijghoogte PL 2 buitenwaarts [m NAP]:

Stijghoogte PL 2 binnenwaarts [m NAP]:

Indringingslengte [m]:

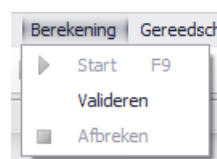
Figuur 2.13: Waternet-instellingen

2.2.1.4 Menu Berekening

Het menu bestaat uit 3 onderdelen:

1 Een invoer valideren

Alvorens een berekening plaats kan vinden, moet er eerst gecontroleerd worden of alle invoergegevens voor een BM - Macrostabieliteit berekening beschikbaar en geldig zijn. Dit kan door *Valideren* te kiezen in het contextmenu van een berekening:



Figuur 2.14: Het Rekenen-menu

Wanneer valideren nog moet plaats vinden, is *Start* uitgedigrijsd. Als de validatie is gelukt, dan is het net andersom: *Valideren* is uitgedigrijsd, en een berekening kan gestart worden. Bij een foutmelding of bij een aanpassing binnen een invoerveld, en er is nog niet op <enter> gedrukt of naar een ander veld gesprongen, dan zijn zowel *Start* als *Validatie* uitgedigrijsd

Als er fouten gevonden worden tijdens de validatie, is deze informatie terug te vinden in het validatievenster. Met behulp van de indicaties in deze berichten kunnen de benodigde aanpassingen in de berekeningsparameters ingevoerd worden, of met de *Herstel*-knop worden hersteld.

Validatie				
Tabellen		Validatie	Log	
 				
Ernst	Melding	Onderwerp	Herstel	
	Geen grensspanningsdata bekend voor 'Soil Profile 2D'.			
	Gemiddeld hoog water (GHW) kan niet hoger zijn dan maatgevend hoog water (MHW).			

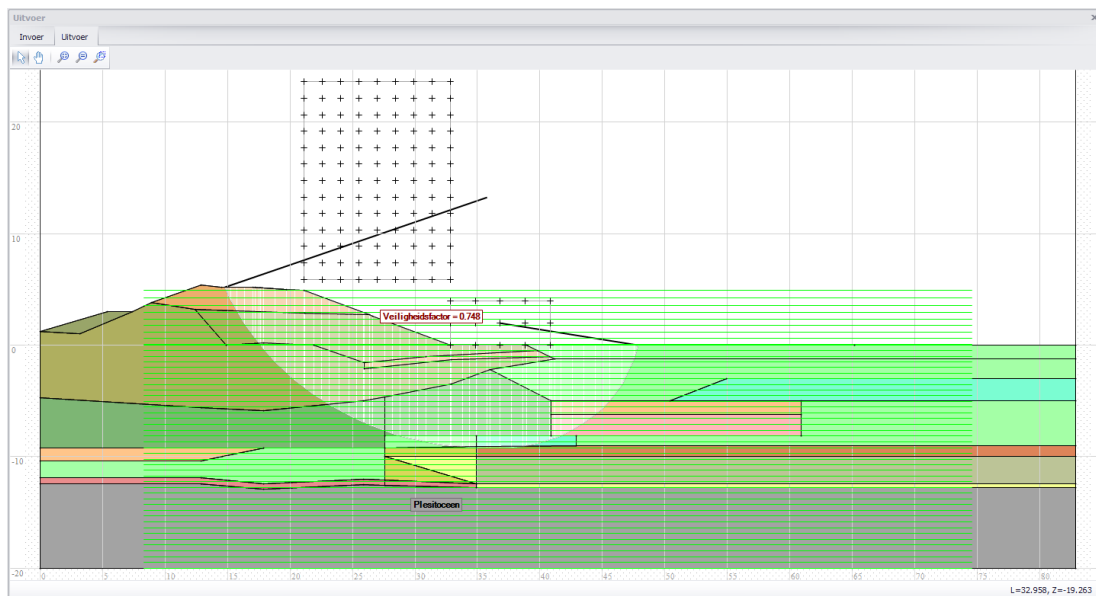
Figuur 2.15: Validatie met fouten

BM - Macrostabiliteit kent waarschuwingen (⚠️) en foutmeldingen (❌). De meldingen van de laatste categorie moeten afgehandeld worden door de gebruiker. Daar waar mogelijk geeft BM - Macrostabiliteit de mogelijkheid om het probleem op te lossen. In dat geval is een link beschikbaar direct achter de melding in de kolom 'Herstel'. Door erop te klikken wordt de herstelactie uitgevoerd. De gebruiker kan ook, op basis van de melding, zelf het probleem oplossen. De herstelacties gelden alleen voor het gemelde onderwerp.

2 Een berekening uitvoeren (Start)

Wanneer de invoer valide is, kan de berekening daadwerkelijk opgestart worden door op **Start** of F9 te klikken. De berekening kan enige tijd in beslag nemen (afhankelijk van geometrie en rekeninstellingen). De voortgang is in de huidige versie van BM - Macrostabiliteit niet zichtbaar. Wat wel zichtbaar is, is een uitgereijde rekenknop.

In het tabblad *Uitvoer* staan de resultaten. Informatie per lamel is beschikbaar in de tabellen, [paragraaf 2.2.4](#). In de figuur hieronder zien we de uitvoer van dwp3.macx, het derde voorbeeld dat wordt meegeleverd:



Figuur 2.16: Tabblad Uitvoer

In [figuur 2.16](#) is te zien dat **Verplaats grid** in de rekeninstellingen aan staat, want het middelpunt van de linker cirkel ligt naast het grid. Als deze niet aan stond, dan was de veiligheidsfactor 0.780 in dit voorbeeld.

3 Een berekening afbreken

Wanneer een berekening lang duurt, dan kan het afgebroken worden. Lange berekeningen kunnen optreden wanneer er veel laagscheidingen voorkomen (rekentijd op een

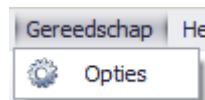
laptop ca. 10 minuten), of wanneer het middelpunt van de glijcirkel niet gevonden kan worden, en het programma oneindig itereert. De rekeninstellingen moeten dan gewijzigd worden (zie [tabel 3.1](#)).



Figuur 2.17: Beeindigen van een berekening

2.2.1.5 Gereedschap-menu

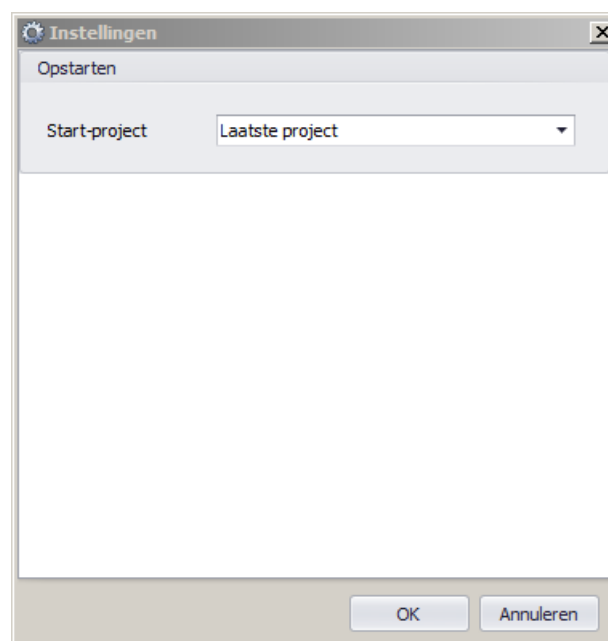
De opties worden opgevraagd met **Gereedschap** → **Opties**:



Figuur 2.18: De opties van BM - Macrostabiliteit openen

Er kan één onderdeel worden gewijzigd:

- 1 **Start-project:** dit selectievakje geeft aan of het programma met een nieuw project of met het laatste project moet starten. Het laatste project is het project dat gebruikt is bij de vorige sessie van BM - Macrostabiliteit.



Figuur 2.19: Selectievakje met keuzemogelijkheid

2.2.1.6 Help-menu

De Help functie geeft productinformatie over het programma ([Figuur 2.20](#)).



Figuur 2.20: Het Help-menu

In het Info-scherm wordt informatie gegeven over de naam, versienummer, copyright en contactgegevens van de Helpdesk Water.

2.2.2 Werkbalk snelle toegang



Figuur 2.21: Werkbalk snelle toegang

De werkbalk snelle toegang ([figuur 2.21](#)) heeft de volgende mogelijkheden:

	Open een nieuw, leeg project
	Open een bestaand project
	Bewaar het geopende project
	Maak meest recente actie ongedaan
	Herstel de laatst ongedane actie
	Start berekening (alleen bij een blauwe driehoek)
	Stop berekening (alleen bij een blauwe vierkant)
	Herstel alle schermen naar de standaardpositie

Indien icoontjes uitgereisd zijn, kunnen deze niet gebruikt worden.

2.2.3 In- en uitvoerscherm

Het invoerscherm geeft de schematisatie van de dijk weer zoals deze is ingevoerd. Met de muis kan over het profiel heen worden bewogen, om de verschillende gegevens te tonen. Met behulp van de knoppen in dit tabblad kunnen de gebruikers het diagram verschuiven, inzoomen naar een te tekenen rechthoek, of zoomen om alle elementen die in het diagram zichtbaar zijn volledig weer te geven (figuur 2.22). De ondergrondschematisatie kan niet gewijzigd worden. Dit dient in D-Soil Model te gebeuren.

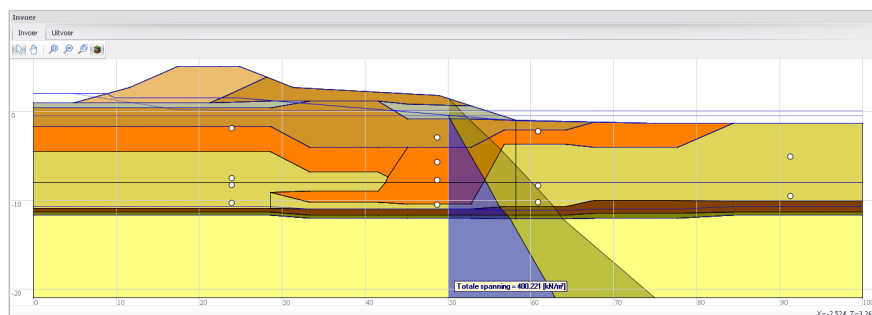
Er zijn verschillende mogelijkheden om de figuur op het scherm te wijzigen:



Figuur 2.22: Zoomopties en toon spanningen

De betekenis van de symbolen is:

	Selectie: Het desbetreffende object wordt getoond in het Eigenschappen-scherf
	Verschuif: Verschuif het scherm, de X- en z-waarden passen zich aan.
	Zoom naar limieten en behoud aspect ratio: Zoomt tot alle inhoud op het scherm past met behoud van de X- en Z-verhoudingen. Tip: Zoom met muis wiel: Houd de alt-knop ingedrukt om in verticale richting te zoomen. Houd de shift- en alt-knop ingedrukt om in horizontale richting te zoomen.
	Zoom naar limieten en herstel aspect ratio: Zoomt tot alle inhoud op het scherm past en herstelt de X- en Z-verhoudingen. Tip: Zoom met muis wiel: Houd de alt-knop ingedrukt om in verticale richting te zoomen. Houd de shift- en alt-knop ingedrukt om in horizontale richting te zoomen.
	Zoom per rechthoek: Klik en verplaats muis van top-links naar bodem-rechts om in te zoomen. Verplaats de muis in tegengestelde richting om uit te zoomen.
	Toon spanningen Indien aangeklikt, zijn de water- en totale spanningen per vertikaal zichtbaar, zie figuur 2.23 .



Figuur 2.23: Toon spanningen

Deze knoppen zijn ook aanwezig in het uitvoerscherm. In het uitvoerscherm wordt het resultaat van een berekening getoond, met het grid, de (water)spanningen en het maatgevende schuifvlak.

2.2.4 Tabellen

Er worden 3 soorten tabellen getoond:

- ◇ Materialen, Grensspanningen, Lamellen en Materialen (uitvoer); [paragraaf 2.2.4.1](#)
- ◇ Validatie; [paragraaf 2.2.4.2](#)
- ◇ Log; [paragraaf 2.2.4.3](#)

2.2.4.1 Materialen, Lamellen en Materialen (uitvoer)

De materialentab geeft de beschrijving van de materiaalparameters.

De volgende materiaalparameters zijn benodigd voor een stabiliteitsberekening in BM - Macrostabieliteit:

Naam	Symbol	Eenheid	Min waarde	Max waarde
Materiaal naam	—	—	—	—
Verzadigd volumiek gewicht	γ_{sat}	kN/m ³	10	$+\infty$
Onverzadigd volumiek gewicht	γ_{unsat}	kN/m ³	0.001	$+\infty$
Cohesie per grondlaag	c'	kN/m ²	0	$+\infty$
Hoek van inwendige wrijving per grondlaag	ϕ'	°	0	89
POP (relevant indien 'Gebruik POP' is aangevinkt)	POP	kN/m ²	0	$+\infty$
Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio	S'	—	0	$+\infty$
Sterkte toename exponent m	m	—	0	1
Schuifsterkte model: - C-Phi - Su-berekend - C-Phi/Su-berekend	—	—	—	—
Gebruik POP (relevant indien Su-berekend is gekozen)	—	—	—	—

Tabel 2.4: Benodigde materiaalparameters

Het schuifsterktemodel wordt per materiaalsoort gekozen; welke keuze wordt gemaakt hangt af van het type materiaal; meer toelichting is te vinden in de schematiseringshandleiding macrostabieliteit [Deltares, 2016a]. Afhankelijk van het schuifsterktemodel zijn er meer of minder kolommen van belang. Zij worden echter wel allen getoond. In [hoofdstuk 4](#) worden de schuifsterktemodellen verder toegelicht.

De gegevens in de materialentab zijn te wijzigen in D-Soil Model [Deltares, 2016c].

Na het uitvoeren van een berekening, zijn de tabbladen *Lamellen* en *Materialen (Uitvoer)* zichtbaar.

De tabel *Lamellen* geeft de gegevens weer van de lamellen van het glijvlak.

In *Materialen (Uitvoer)* staan de gebruikte waarden voor de berekening. Met name door het gebruik van 'Waarde (on)verzadigde gewichten' bij rekeninstellingen, is het van belang te weten met welk volumiek gewicht de berekening is gemaakt.

Tabellen							
Tabellen		Validatie		Log			
Materialen		Lamellen		Materialen (uitvoer)			
							
Naam	Kleur	Type ondergrond	Beschrijving	Onverzadigd gewicht [kN/m³]	Verzadigd gewicht [kN/m³]	Schuifst	
► H_Mg_zf		Zand		10.022	14.508	CPhi	
H_Mkw_z&k		Klei		13.274	12.638	CPhi	
P_Mp_k		Grind		15.177	11.555	CPhi	

Figuur 2.24: Materialen (uitvoer)

2.2.4.2 Validatie

De inhoud van de validatie-tabel wordt beschreven in [paragraaf 2.2.1.4](#)

De cellen van validatie kunt u bewerken door gebruik te maken van de icoontjes van de tabelmenubalk:

	<i>Kopiëren</i> U kunt gegevens uit een tabel kopiëren door de cellen te selecteren en vervolgens op dit icoon drukken (of gebruik Ctrl+C).
	<i>Plakken</i> Met dit icoon kunt u gegevens in de tabel plakken (of gebruik Ctrl+V).
	<i>Aanpassen</i> Met dit icoon kunt u de kolomlengte aanpassen naar de inhoud.
	<i>Wijzig</i> Met dit icoon kunt u de geselecteerde gegevens op meerdere wijzen aanpassen door middel van een Edit-scherm met bewerkingen (=, +, -, ×, /, <, >).
	<i>Tabel exporteren</i> Met dit icoon kunt u de tabel in zijn geheel exporteren in diverse bestandsformaten (csv, txt, pdf, xls en xlsx).

Indien icoontjes uitgedruisd zijn, kunnen deze niet gebruikt worden. Zo is de 'plakken' optie in deze versie van BM - Macrostabiliteit niet beschikbaar.

2.2.4.3 Log

Bij elke actie van de gebruiker (niet zijnde invullen van data) wordt de log-tabel gevuld met de informatie van over deze actie, zoals het importeren van een geometrie, berekening uitvoeren of een berekening onderbreken:



Melding	Onderwerp
De berekening is afgebroken door de gebruiker.	Deltares.Standard.Calculate.CalculationManager

Figuur 2.25: Log tabel

3 Werken met BM - Macrostabiliiteit

Dit hoofdstuk bevat een beknopte introductie met als doel om snel met BM - Macrostabiliiteit aan de slag te kunnen gaan. Hierbij zijn de stappen beschreven die nodig zijn om met BM - Macrostabiliiteit te kunnen werken. Om een complete berekening met BM - Macrostabiliiteit te kunnen uitvoeren kunt u één van de twee stappen volgen:

- ◇ [Bestaand .MACX project openen en bewerken \(3.1\)](#)
- ◇ [Ondergrond importeren middels bestaand .SOIL project \(3.2\)](#)

Bij het openen van een compleet project, kan er direct gerekend worden. Na het importeren van een geometrie zijn er nog extra gegevens nodig:

- ◇ [Rekeninstellingen \(3.3\)](#); waarden invullen of aanpassen, waaronder:
- ◇ [Gridinstellingen \(3.4\)](#); waarden invullen of aanpassen
- ◇ [Invoer waternet creator \(3.5\)](#); waarden invullen of aanpassen

Indien een bestaand .MACX project wordt geopend, kunnen reeds alle rekeninstellingen en waternetgegevens beschikbaar zijn. Deze kunnen dan nog wel aangepast worden voordat er gerekend wordt. Indien een ondergrond wordt geïmporteerd, dienen de rekeninstellingen en waternetgegevens nog te worden ingevoerd.

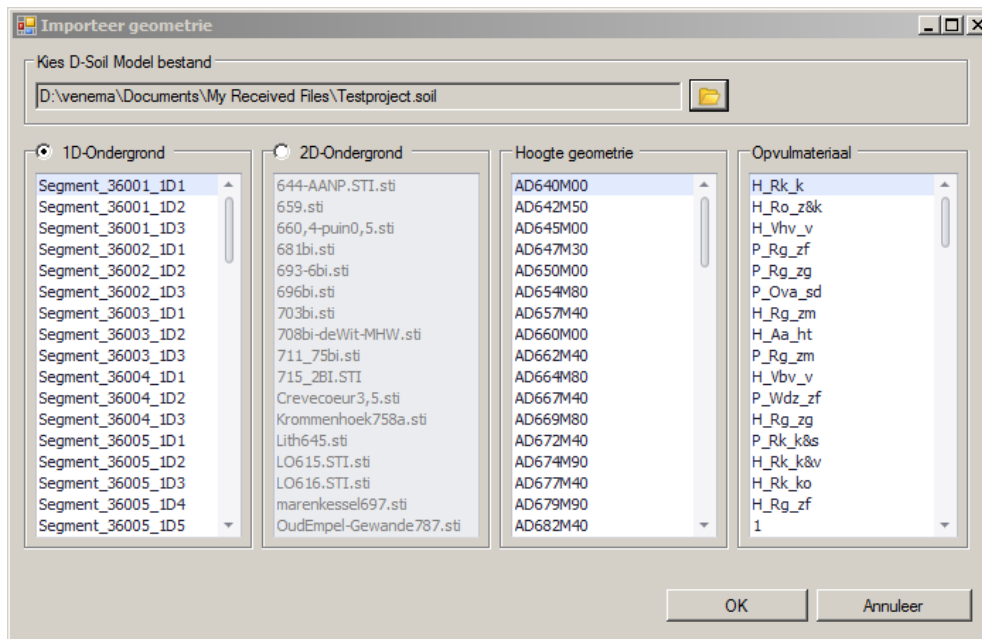
3.1 Bestaand .MACX project openen en bewerken

Wanneer een project van BM - Macrostabiliiteit al bestaat, kan het via het *Bestand*-menu worden geopend. De bestandsextensie van BM - Macrostabiliiteit projecten is '*.macx'. Alle BM - Macrostabiliiteit projecten, die zijn opgeslagen met *Opslaan* of *Opslaan als*, zullen deze extensie hebben. Bij de installatie zijn voorbeeld projectbestanden meegeleverd. Deze zijn te vinden op: C:\Users\Public\Documents\WTI\BmMacrostabiliiteit\Voorbeelden. Deze voorbeelden zijn compleet met rekeninstellingen en gegevens voor het waternet en kunnen direct worden doorgerekend (na validatie).

3.2 Ondergrond importeren middels bestaand .SOIL project

Een bestaand D-Soil Model-project bestaat uit 1d- of 2d- ondergronden, de hoogtegeometrieën en een materialenlijst.





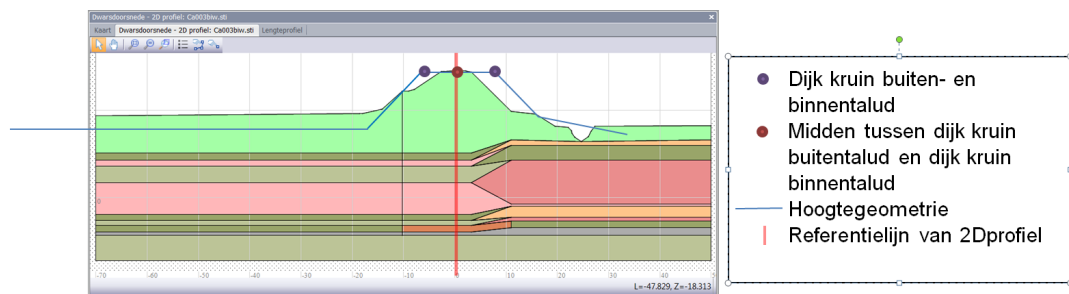
Figuur 3.1: Importeer geometrie

De 1D- en 2D laagscheidingen hebben een bovenkant, maar deze hoeft niet gelijk te zijn aan de hoogtegeometrie van de te berekenen locatie. Daarom wordt er om een hoogtegeometrie en opvulmateriaal gevraagd. Het opvulmateriaal wordt gebruikt om als materiaal toe te kennen aan de gebieden tussen de bovenkant ondergrond en de hoogtegeometrie liggen. Indien de bovenkant ondergrond hoger ligt dan de hoogtegeometrie wordt dit gebied 'weggesneden'.

Let op: Indien er gebruik wordt gemaakt van het ongedraineerde schuifsterktemodel met grensspanningen, is het van belang dat het juiste hoogteprofiel, behorende bij de grensspanningen, geïmporteerd wordt. Hier vindt geen automatische controle op; de gebruiker kan elke hoogtegeometrie combineren met een ondergrond met grensspanningen. Hetgeen kan leiden tot een incorrecte schematisatie. Omdat in BM - Macrostabiliteit maar één schematisatie per keer doorgerekend kan worden, wordt het werkbaar geacht dat de gebruiker zelf besluit of de combinatie hoogtegeometrie met grensspanningen correct is.

3.2.1 Combineren 2D profielen met een hoogtedwarsprofiel

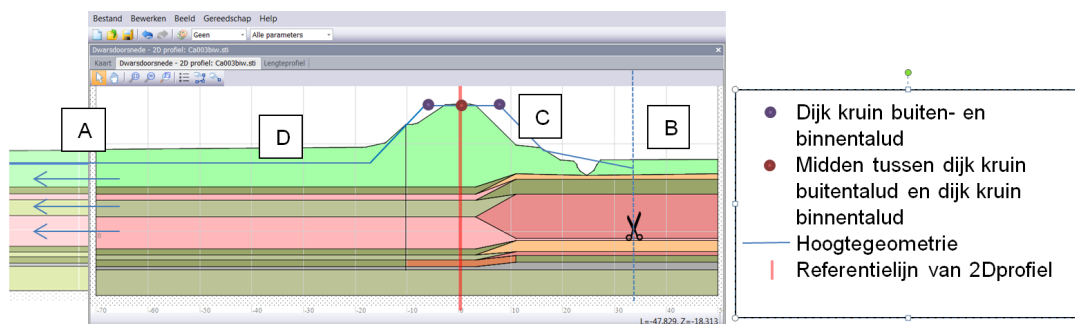
Het 2D(ondergrond-)profiel wordt gecombineerd met een hoogtegeometrie doordat de referentielijn (de rode lijn in fig. 3.2) op het midden tussen de karakteristieke punten Dijk kruin buitentalud en Dijk kruin binnentalud (paarse punten) wordt 'gelegd'. De referentielijn dient opgegeven te zijn in D-Soil Model. De hoogtegeometrie (blauwe lijn) dient karakteristieke punten te bevatten.



Figuur 3.2: Combinatie 2D profiel met hoogtegeometrie (blauwe lijn)

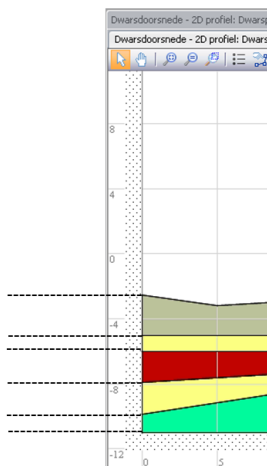
Omdat zowel de hoogtegeometrie, als het 2D profiel een lengte kennen, zijn er een aantal situaties (zie fig. 3.3) waarbij de gegevens aangepast worden:

- ◇ Situatie A: De hoogtegeometrie is langer dan het 2D profiel.
Het 2D profiel wordt verlengd tot het begin of eind van de hoogtegeometrie.
- ◇ Situatie B: Het 2D profiel is langer dan de hoogtegeometrie.
Het 2D profiel wordt afgeknipt waar de hoogtegeometrie begint of eindigt.
- ◇ Situatie C: De hoogtegeometrie ligt hoger dan het 2D profiel.
Het 2D profiel wordt aangevuld tot de hoogtegeometrie waarbij de laag geen materiaal krijgt toegekend. Dit dient de gebruiker te doen.
- ◇ Situatie D: De hoogtegeometrie ligt lager dan het 2D profiel.
Het gedeelte van het 2D profiel dat onder de hoogtegeometrie ligt, komt te vervallen. De hoogtegeometrie (of een punt daarvan) mag echter nooit lager liggen dan de onderkant van het 2D profiel.



Figuur 3.3: Aanpassingen tijdens de combinatie

Indien de ondergrondschematisatie schuine lijnen bevat in situatie A, wordt de hoogte van de laagscheidingen van het uiterste punt overgenomen als horizontale laagscheiding en daarmee verlengd. (zie fig. 3.4)

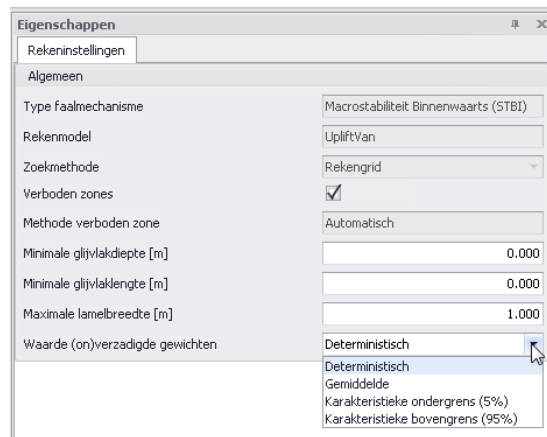


Figuur 3.4: Verlengen laagscheidingen

De aquifer dient van links naar rechts volledig doorlopend te zijn om de waternetcreator goed te laten functioneren. Nadat de ondergrond is ingelezen dienen de rekeninstellingen en de gegevens voor het waternet ingevoerd te worden.

3.3 Rekeninstellingen

De rekeninstellingen kunnen gewijzigd worden in het eigenschappenscherf:



Figuur 3.5: Gegevens wijzigen

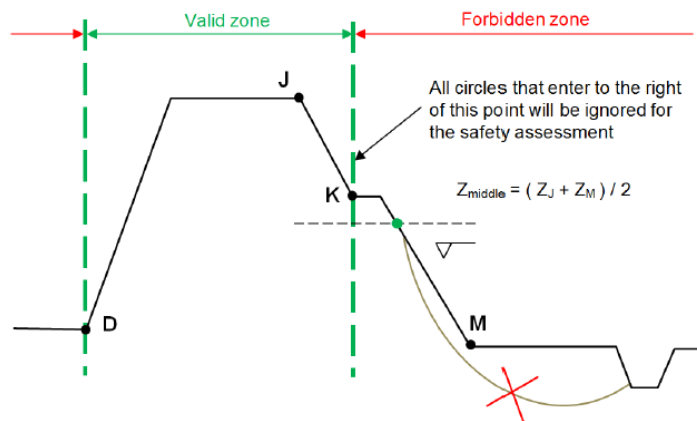
Het rekengrid en tangent lijnen worden in eerste instantie automatisch geplaatst op basis van de karakteristieke punten. Indien de gebruiker dit wil aanpassen, kan dat bij grid instellingen, zie [paragraaf 3.4.](#)

Variabele	Eenheid	Verklaring	Min	Max
Verboden zones	[aan - uit]	Aan: Bepaalt het beginpunt van de maatgevende glijcirkel op de dijk (zie: figuur 3.6). Default = [aan]		
Minimale glijvlakdiepte	[m]	Van het hoogste segment in de lamel wordt ingevoerd.	0	2
Minimale glijvlaklengte	[m]	De minimale glijvlaklengte wordt ingevoerd. Standaard wordt de waarde ingesteld op 0 meter, wat betekent dat er geen controle op de lengte zal worden uitgevoerd. Als de minimale lengte > 0 m, dan zal de controle worden uitgevoerd.	0	$+\infty$
Maximale lamelbreedte	[m]	Standaardwaarde = 1 meter	0.01	100
Waarde (on)verzadigde gewichten	[m]	Standaardwaarde = Deterministisch		

Tabel 3.1: Rekeninstellingen

3.3.1 Verboden zone

Om te voorkomen dat het maatgevende glijvlak niet op het talud ligt, zoals bijvoorbeeld bij slootinstabiliteit, bestaat de mogelijkheid om een verboden zone in te stellen. Indien deze optie wordt aangevinkt, wordt het beginpunt van het maatgevende glijvlak gezocht tussen de buitenteen en de insteek binnenberm, zie [figuur 3.7](#). Wanneer de berm boven het midden ligt ($Z_K > Z_{middle}$) wordt de berm aangehouden (K in figuur). Wanneer de berm lager ligt, wordt het midden van het talud (Z_{middle}) genomen. Wanneer er geen berm aanwezig is, wordt ook het midden van het talud genomen. Dit wordt als 'valid' oftewel toegestane zone in onderstaande tekening weergegeven. Er wordt dus geen maatgevende glijcirkel gevonden die de hoogtegeometrie insnijdt op een punt rechts van K (de verboden zone). De liggingen van de teen buitentalud en insteek binnenberm worden overgenomen uit de karakteristieke punten behorende bij de geïmporteerde hoogtegeometrie.



Figuur 3.6: Verboden zone

3.3.2 Waarde (on)verzadigde gewichten

In D-Soil Model kan voor sterkteparameters zowel een deterministische waarde ('as is') als stochastische waarde met een verdeling opgegeven worden. Deze twee omschrijvingen worden separaat ingevoerd en opgeslagen. Ze zijn dus niet aan elkaar gekoppeld.

Wanneer in D-Soil Model een sti-bestand wordt ingelezen, worden de waarden van de sterkteparameters uit het sti-bestand overgenomen naar de kolom met de deterministische waarde. BM - Macrostabiliteit rekent standaard met deze deterministische waarde.

In de schematiseringshandleiding staat echter vermeld: Wanneer geen lokale metingen beschikbaar zijn kan *eventueel* worden teruggevallen op een regionale proevenverzameling van het volumiek gewicht van grondlagen. In dat geval dienen twee scenario's te worden onderscheiden in de stabiliteitsanalyse, één met de karakteristieke bovengrens van het volumiek gewicht en één met de karakteristieke ondergrens van het volumiek gewicht.

Daarom kan de gebruiker, vanaf versie 17.1, voor de volumieke gewichten aangeven of de stochastische waarde gebruikt moet worden.

Hierdoor zijn vier mogelijkheden ontstaan:

- ◇ Deterministisch; de deterministische waarde zoals in versie 16.2
- ◇ Gemiddelde; de waarde van de stochast (niet nodig volgens schematiseringshandleiding)
- ◇ Karakteristieke ondergrens (5%)
- ◇ Karakteristieke bovengrens (95%)

In D-Soil Model is het (nog) niet mogelijk om gegevens met betrekking tot de proevenverzameling op te nemen, zoals de student-T waarde en het aantal proeven. Daarom wordt er

(nu nog) uitgegaan van een lognormale verdeling. Voor de volumieke gewichten dient daarbij een verschoven lognormale verdeling aangehouden te worden met een verschuiving van 10 kN/m³.

Nadat er gerekend is, is in de tabel materialen (uitvoer) te zien met welke waarden gerekend is.

3.4 Gridinstellingen

De gridinstellingen is een verdere detaillering van de rekeninstellingen en kunnen gewijzigd worden in het eigenschappenscherf:

Eigenschappen	
Gridinstellingen	
Algemeen	
Bepaling grid	Handmatig
Verplaats grid	☒
Bepaling tangentlijnen	Gespecificeerd
Tangentlijn Z-boven [m NAP]	-1.500
Tangentlijn Z-onder [m NAP]	-1.500
Aantal tangentlijnen	1
Linker grid X-links [m]	18.000
Linker grid Z-boven [m NAP]	7.000
Linker grid X-rechts [m]	18.000
Linker grid Z-onder [m NAP]	7.000
Linker grid aantal horizontale punten	1
Linker grid aantal verticale punten	1
Rechter grid X-links [m]	22.000
Rechter grid Z-boven [m NAP]	2.000
Rechter grid X-rechts [m]	22.000
Rechter grid Z-onder [m NAP]	2.000
Rechter grid aantal horizontale punten	1
Rechter grid aantal verticale punten	1

Figuur 3.7: Gegevens wijzigen

Afhankelijk van de keuze bij 'Bepaling grid', kan het grid door de gebruiker worden opgegeven (handmatig). Bij de keuze van 'handmatig' dienen de parameters in onderstaande tabel ingevuld te worden.

Variabele	Eenheid	Verklaring	Min	Max
<i>Bepaling grid</i>	[-]	Keuze tussen een automatische grid bepaling of handmatig. Bij handmatig zijn overige parameters op te geven. Default = [automatisch]		
<i>Verplaats grid</i>	[aan - uit]	Aan: Zorgt er voor dat het middelpunt van de glijcirkel niet op de rand van het grid kan liggen; het grid wordt dan verlegd. Default = [aan]		
<i>Bepaling tangentlijnen</i>	[-]	Op laagscheiding of gespecificeerd. Indien gespecificeerd, dan dien onderstaande drie parameters ingevuld te worden		
<i>Tangentlijn Z-boven</i>	[m NAP]	De ligging van de bovenste tangentlijn	Onderkant geometrie	Oneindig
<i>Tangentlijn Z-beneden</i>	[m NAP]	De ligging van de onderste tangentlijn	Onderkant geometrie	Tangentlijn Z-boven
<i>Aantal tangentlijnen</i>	[-]	Aantal gegenereerde tangentlijnen tussen Z-boven en Z-beneden	1	Oneindig
<i>Linker grid X-links</i>	[m]	De ligging van de linkerkant van het actieve (voor binnenwaarste stabiliteit) grid	Linker geometriegrens	Rechter geometriegrens
<i>Linker grid Z-boven</i>	[m NAP]	De ligging van de bovenkant van het actieve (voor binnenwaarste stabiliteit) grid	Onderkant geometrie	Oneindig

Variabele	Eenheid	Verklaring	Min	Max
<i>Linker grid X-rechts</i>	[m]	De ligging van de rechterkant van het actieve (voor binnenwaarste stabiliteit) grid	Linker grid X-links	Rechter geometriegrens
<i>Linker grid Z-onder</i>	[m NAP]	De ligging van de onderkant van het actieve (voor binnenwaarste stabiliteit) grid	Onderkant geometrie	Linker grid Z-boven
<i>Linker grid aantal horizontale punten</i>	[-]	Totaal aantal horizontale punten van het grid	1	Oneindig
<i>Linker grid aantal verticale punten</i>	[-]	Totaal aantal verticale punten van het grid	1	Oneindig
<i>Rechter grid X-links</i>	[m]	De ligging van de rechterkant van het passieve (voor binnenwaarste stabiliteit) grid	Linker geometriegrens	Rechter geometriegrens
<i>Rechter grid Z-boven</i>	[m NAP]	De ligging van de rechterkant van het passieve (voor binnenwaarste stabiliteit) grid	Onderkant geometrie	Oneindig
<i>Rechter grid X-rechts</i>	[m]	De ligging van de rechterkant van het passieve (voor binnenwaarste stabiliteit) grid	Rechter grid X-links	Rechter geometriegrens
<i>Rechter grid Z-onder</i>	[m NAP]	De ligging van de rechterkant van het passieve (voor binnenwaarste stabiliteit) grid	Rechter grid Z-boven	Oneindig
<i>Rechter grid aantal horizontale punten</i>	[-]	Totaal aantal horizontale punten van het grid	1	Oneindig
<i>Rechter grid aantal verticale punten</i>	[-]	Totaal aantal verticale punten van het grid	1	Oneindig

Tabel 3.2: Handmatige gridinstellingen (met tangentlijnen:gespecificeerd)

Bovenstaande limieten zijn numerieke grenzen. Voor een representatief glijvlak dient het grid boven de hoogtegeometrie gesitueerd te worden.

3.5 Invoer waternet creator

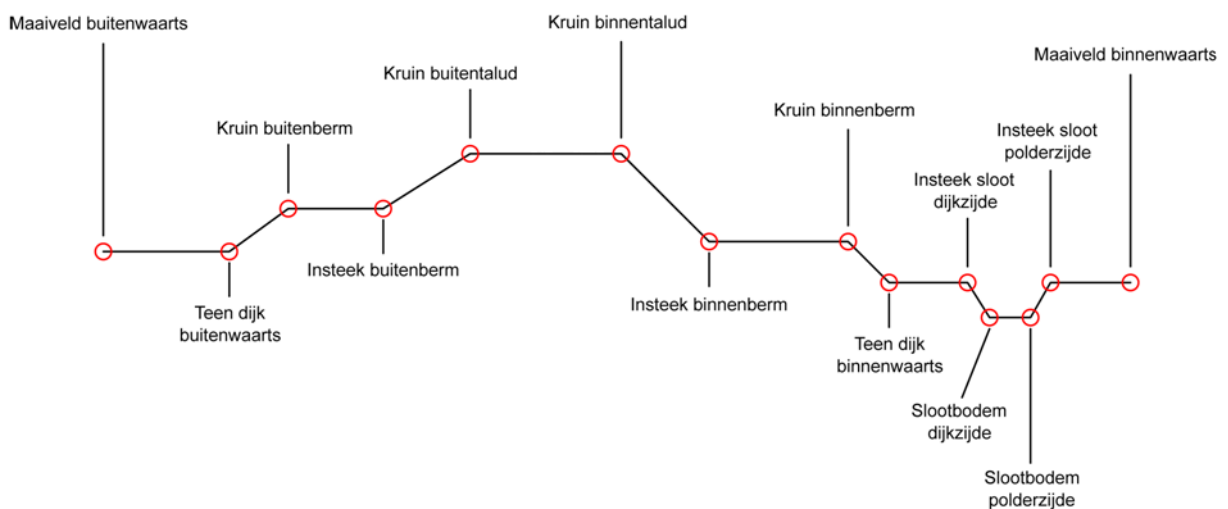
Bij de schematisatie van de waterspanningen, waternet genoemd, wordt uitgegaan van Bijlage 1 Schatting waterspanning uit het Technisch rapport Waterspanningen bij Dijken [TAW,2004]. In de BM - Macrostabiteit worden de waterspanningen automatisch gegenereerd aan de hand invoerparameters en karakteristieke punten op de hoogtegeometrie. In BM - Macrostabiteit is er voor de gebruiker de mogelijkheid om eigen keuzes te maken bij de invoerparameters voor het waternet. De ligging van de karakteristieke punten wordt elders vastgelegd. Beiden worden in deze paragraaf behandeld.

Het waternet wordt zowel in het invoerscherm getoond, als in het uitvoerscherm (na berekening). Indien de invoer met betrekking tot het waternet aangepast wordt, wordt ook de visualisatie van het waternet in de geometrie aangepast. Deze kan dan gaan verschillen met degene in het uitvoerscherm; de melding 'Resultaten zijn verouderd' wordt dan getoond.

Wanneer er gebruik wordt gemaakt van het ongedraineerde schuifsterkte model zijn de waterspanningen onder dagelijkse omstandigheden (oftewel de omstandigheden waarbij het grondonderzoek is gedaan en dus de parameters zijn bepaald) nodig, zie [hoofdstuk 4](#). Het waternet wordt dan twee keer aangemaakt; eenmaal voor de situatie tijdens de beoordelings-situatie en eenmaal tijdens dagelijkse omstandigheden.

3.5.1 Karakteristieke punten

De karakteristieke punten worden ingelezen tijdens het importeren van de geometrie en kunnen niet aangepast worden in BM - Macrostabiliteit.



Figuur 3.8: Karakteristieke punten die gebruikt worden in voor de schematisatie van de waterspanningen

Niet alle karakteristieke punten zijn verplicht; sloten en/of bermen kunnen afwezig zijn in het geometrisch profiel. Voor verdere uitleg van het bestand voor karakteristieke punten, wordt verwezen naar de gebruikershandleiding van D-Soil Model. In [paragraaf 3.6](#) komt invloed van de karakteristieke punten op het waternet aan de orde.

3.5.2 Invoer waternet - stijghoogtelijnen

De waterspanningen worden gedefinieerd door vier mogelijke stijghoogtelijnen (piëzolin: PL). De freatische lijn wordt voor de leesbaarheid van dit document ook als stijghoogtelijn beschouwd.

De vier mogelijke stijghoogtelijnen zijn:

- ◇ PL 1: Freatische lijn
- ◇ PL 2: Stijghoogte aan de bovenkant van de indringingslaag (van de onderste en tussenliggende aquifer)
- ◇ PL 3: Stijghoogte onderste aquifer
- ◇ PL 4: Stijghoogte tussenliggende aquifer

Om deze lijnen automatisch te genereren zijn er een aantal parameters nodig. Deze gegevens kunnen ingevoerd worden in het scherm Waternet, door in de menubalk *Project-Waternet* te kiezen.

Figuur 3.9: Parameters voor de schematisatie van de waterspanningen

Waternet aanmaak methode

Tijdens het beoordelen is de waternet aanmaak methode altijd 'Genereer waternet automatisch'.

Dijk/bodem materiaal

Voor het schematiseren van het freatisch vlak en de stijghoogten wordt in het TR Waterspanningen onderscheid gemaakt tussen verschillende geohydrologische situaties:

- ◇ Klei dijk op klei (geval 1A)
- ◇ Zand dijk op klei (geval 2A)
- ◇ Klei dijk op zand (geval 1B)
- ◇ Zand dijk op zand (geval 2B)

Op basis van deze keuze door de gebruiker worden de waterspanningen geschematiseerd. De gemaakte keuze staat in de BM - Macrostabieliteit los van de bodemopbouw; er wordt *niet* gecontroleerd of deze overeenkomen.

Buitenwaterstand [m NAP]

De buitenwaterstand wordt gebruikt om het verloop van de freatische lijn (PL1) te genereren. Voor de toetsing dient hier de waterstand bij de norm ingevuld te worden. Deze dient tussen Z-waarde van het karakteristiek punt Maaiveld buitenwaarts en de kruinhoogte (Z-waarde van kruin buitentalud) te liggen.

Gemiddeld hoogwater [m NAP]

Het gemiddeld hoogwater (GHW) wordt gebruikt om het verloop van de stijghoogtelijnen in de aquifers te genereren. De waarde dient tussen Z-waarde van het karakteristiek punt Maaiveld buitenwaarts en de buitenwaterstand te liggen. Bij het waternet onder dagelijkse omstandigheden zullen buitenwaterstand en GHW gelijk zijn of niet veel verschillen.

Polderpeil / slootpeil [m NAP]

Het polderpeil/slootpeil wordt gebruikt om het verloop van de freatische lijn (PL1) te genereren. De waarde dient tussen de onderkant van de geometrie en de Z-waarde van het karakteristiek punt maaiveld binnenwaarts te liggen.

Aanwezigheid drainage

Bij de hydraulische scenario's Zand dijk op klei (geval 2A) en Zand dijk op zand (geval 2B) is het mogelijk om de aanwezigheid van drainage aan te geven. Deze wordt vervolgens gebruikt voor het verloop van de freatische lijn (PL1).

Wanneer deze wordt aangevinkt, moeten de coördinaten van het midden van de drainage (X en Z) worden opgegeven. Dit punt dient binnen de geometrie te vallen, dus X-waarde binnen de linker- en rechtergrens. En de Z-waarde moet tussen de hoogtegeometrielijn (maaiveld) en het polderpeil/slootpeil (!) liggen.

PL1 initiële hoogte onder de buitenkruinlijn [m NAP]

Voor het verloop van de freatische lijn (PL1) worden offsets ten opzichte van de buitenwaterstand en de hoogtegeometrie gebruikt, hetzij default, hetzij door de gebruiker opgegeven. Het wordt de offset onder *kruin buitentalud* genoemd, maar het punt ligt 1 m voorbij het snijpunt van het buitentalud met de buitenwaterstand: Punt B in [figuur 3.10](#) en [figuur 3.11](#).

De gebruiker kan een minimale waarde in m NAP voor dit punt van de freatische lijn opgeven, komt overeen met $Z_{B;initieel}$ in [tabel 3.3](#). De applicatie laat de uitkomst van de offset niet *onder* dit minimum uitkomen. Deze parameter (in m NAP) dient tussen de onderkant geometrie en de hoogtegeometrie (Z-waarde van karakteristiek punt Kruin buitentalud) te liggen. In de BM - Macrostabieliteit wordt één schematisatie gemaakt en is deze parameter alleen van belang bij relatief lage buitenwaterstanden.

PL1 initiële hoogte onder de binnenkruinlijn [m NAP]

Voor het verloop van de freatische lijn (PL1) worden offsets ten opzichte van de buitenwaterstand en de hoogtegeometrie gebruikt, hetzij default, hetzij door de gebruiker opgegeven. Punt C in [figuur 3.10](#) en [figuur 3.11](#).

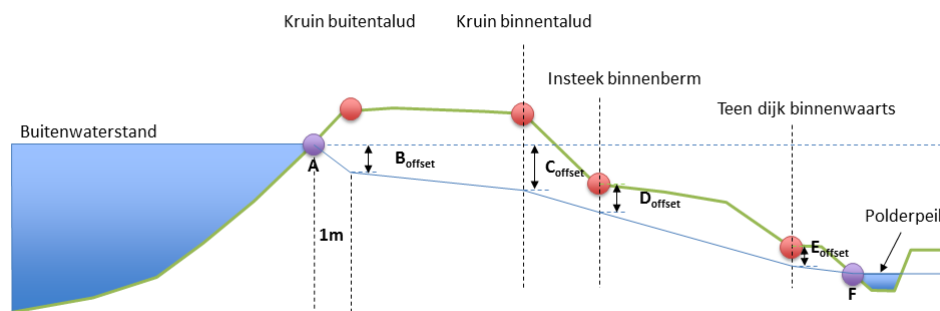
De gebruiker kan een minimale waarde in m NAP voor dit punt van de freatische lijn opgeven, komt overeen met $Z_{C;initieel}$ in [tabel 3.3](#). De applicatie laat de uitkomst van de offset niet *onder* dit minimum uitkomen. Deze parameter (in m NAP) dient tussen de onderkant geometrie en de hoogtegeometrie (Z-waarde van karakteristiek punt Kruin binnentalud) te liggen. In de BM - Macrostabieliteit wordt één schematisatie gemaakt en is deze parameter alleen van belang bij relatief lage buitenwaterstanden.

Gebruik default waarden voor offsets van PL1

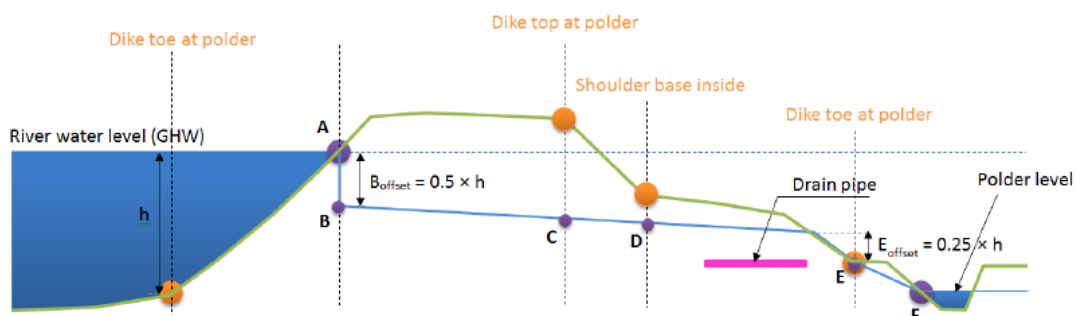
Voor het verloop van de freatische lijn worden offsets ten opzichte van de buitenwaterstand en de hoogtegeometrie gebruikt. Indien dit veld wordt aangevinkt, worden de standaard waarden voor de offsets gebruikt, zie [tabel 3.3](#). Indien dit veld niet wordt aangevinkt, zijn vier velden zichtbaar om deze offsets op te geven, zie PL1 Offset.

PL1 Offset [m]

Het freatisch vlak wordt geschematiseerd op basis van de buitenwaterstand (punt A), het polderpeil (punt F) en door de gebruiker op te geven verticale offsets ter plaatse van de karakteristieke punten B, C, D en E (zie [figuur 3.10](#) en [figuur 3.11](#)). Het punt D is er alleen als er een berm is en F (polderpeil/slootpeil) indien er een sloot is.



Figuur 3.10: Schematisatie van freatische lijn door middel van offsets bij een kleidijk.



Figuur 3.11: Schematisatie van freatische lijn door middel van offsets bij een zanddijk op klei.

- ◇ PL1 offset onder buitenkruin (B)
Hier wordt de offset ten opzichte van de buitenwaterstand opgegeven. Het wordt de offset onder kruin buitentalud genoemd, maar het punt ligt 1 m voorbij het snijpunt van het buitentalud met de buitenwaterstand (punt A) bij kleidijken of direct onder het snijpunt (A) bij zanddijken. Waarde mag positief zijn, maar de freatische lijn mag op dit punt echter nooit boven de hoogtegeometrie of onder polderpeil komen.
- ◇ PI1 offset onder binnenkruin (C)
Hier wordt de offset ten opzichte van de buitenwaterstand opgegeven. Waarde mag positief zijn, maar de freatische lijn mag op dit punt echter nooit boven de hoogtegeometrie of onder polderpeil komen.
- ◇ PI1 offset onder insteek binnenberm (D)
Indien binnenberm aanwezig kan de offset, ten opzichte van de hoogtegeometrie (maai-

veld), worden opgegeven. De freatische lijn mag op dit punt echter nooit boven de hoog-tegeometrie (waarde moet dus negatief zijn) of onder polderpeil komen.

◇ PL1 offset onder teen dijk binnenwaarts (E)

Hier wordt de offset ten opzichte van de hoogtegeometrie (maaiveld) opgegeven. De freatische lijn mag op dit punt echter nooit boven de hoogtegeometrie of onder polderpeil komen.

De offsets zijn waarden in meters. Een positieve offset geeft een verlaging van het freatisch vlak en een negatieve offset geeft een verhoging van het freatisch vlak. Dit laatste is alleen mogelijk onder de kruin.

Het genereren van het verloop van de freatische lijn komt in [paragraaf 3.6.1](#) aan de orde.

(Corrigeer) PL3 en PL4 voor opbarsten

In deze is aangevinkt, controleert het programma of er opdrijven optreedt, vanaf de binnen-teen tot aan de rand van het profiel en past zonodig de PL3- en/of PL4-lijn aan. (zie: [para-graaf 3.6.2.3](#))

Leklengte [m]

De leklengte kan worden opgegeven voor de onderste aquifer en eventueel de tussenliggende aquifer en zowel buitenwaarts als binnenwaarts. De leklengte is een lengtemaat voor de door-laatcapaciteit van de aquifer. De doorlaatcapaciteit wordt bepaald door het doorlaatvermogen van de aquifer en door de weerstand van de slecht doorlatende toplaag. Praktische (statio-naire) leklengten voor de Nederlandse situatie kunnen variëren van 100 m tot 1000 m. De leklengte kan worden bepaald uit een analyse van stijghoogtemetingen in de aquifer. (TAW, 2004, bijlage 3).

Stijghoogte PL2 buitenwaarts [m NAP]

De stijghoogte van PL2 buitenwaarts aan de onderkant van de diepe samendrukbare lagen. Als er geen metingen beschikbaar zijn, wordt aanbevolen het GHW in te voeren.

Stijghoogte PL2 binnenwaarts [m NAP]

De stijghoogte van PL2 binnenwaarts aan de onderkant van de diepe samendrukbare lagen. Als er geen metingen beschikbaar zijn, wordt aanbevolen het GHW in te voeren.

Indringingslengte [m]

Indringingslengte is de verticale afstand aan de onderzijde van de slecht doorlatende deklaag waarover de waterspanning in de deklaag verandert bij waterspanningsvariaties in de onder-ste aquifer. (zie bijlage 4 van TAW,2004). Deze wordt tevens gebruikt bij een tussenliggende aquifer, aan onder- en bovenzijde.

3.6 Werking waternet creator

Het waternet wordt gegenereerd aan de hand van stijghoogtelijnen die gekoppeld worden aan waternetlijnen. De waternetlijnen geven in de geometrie de hydrologische zones weer, waarin de betreffende stijghoogte geldend is.

3.6.1 Verloop van de freatische lijn

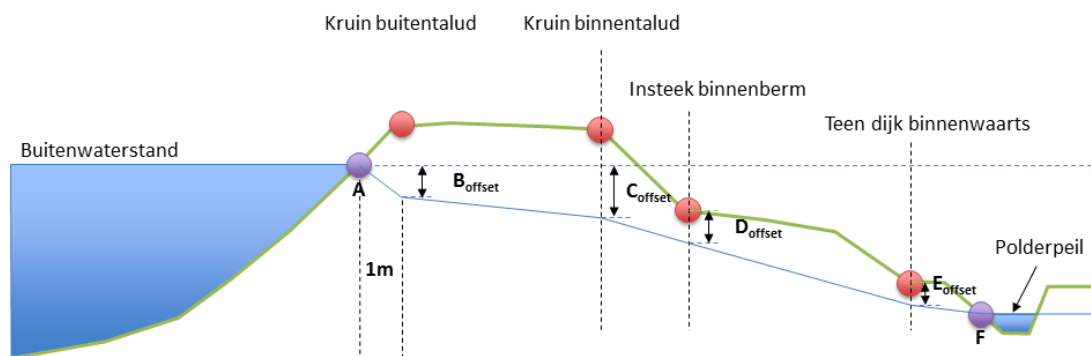
Voor het schematiseren van het freatisch vlak en de stijghoogten wordt in het TR Waterspanningen onderscheid gemaakt tussen verschillende geohydrologische situaties:

- ◇ Klei dijk op klei (geval 1A)
- ◇ Zand dijk op klei (geval 2A)
- ◇ Klei dijk op zand (geval 1B)
- ◇ Zand dijk op zand (geval 2B)

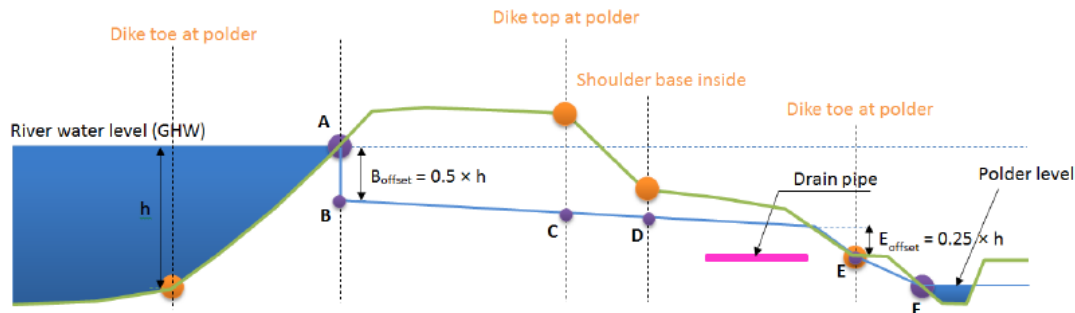
Afhankelijk van de gemaakte keuze, wordt de freatische lijn gegenereerd aan de hand van de standaard- of opgegeven offsets en andere parameters, zie [paragraaf 3.5.2](#).

Punt	Geval 1A en 1B (zie: figuur 3.12)	Geval 2A (zie: figuur 3.13)	Geval 2B (zie: figuur 3.14)
A	Snijpunt van de buitenwaterstand met het buitentalud	Snijpunt van de buitenwaterstand met het buitentalud	Snijpunt van de buitenwaterstand met het buitentalud
B	Buitenwaterstand - offset. Default 1m, begrensd door $Z_{B;initial}$	Buitenwaterstand - offset. Default $0.5 * (Z_A - Z_E)$, begrensd door $Z_{B;initial}$	Lineaire interpolatie tussen A en E, begrensd door $Z_{B;initial}$
C	Buitenwaterstand - offset. Default 1.5m, begrensd door $Z_{C;initial}$	Lineaire interpolatie tussen B en E, begrensd door $Z_{C;initial}$	Lineaire interpolatie tussen A en E, begrensd door $Z_{C;initial}$
D	Lineaire interpolatie tussen C en E	Lineaire interpolatie tussen B en E	Lineaire interpolatie tussen A en E
E	Maaiveldniveau bij teen van de dijk	Maaiveldniveau bij teen van de dijk - $0.25 * (Z_A - Z_E)$	Maaiveldniveau bij teen van de dijk - $0.25 * (Z_A - Z_E)$
F	Snijpunt polder met slootpeil	Snijpunt polder met slootpeil	Snijpunt polder met slootpeil

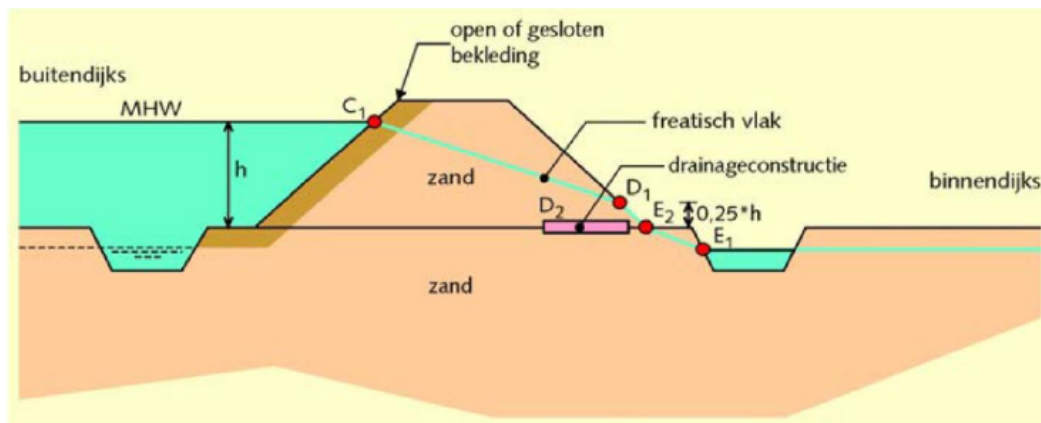
Tabel 3.3: De automatisch gecreëerde punten van de freatische lijn



Figuur 3.12: Freatische lijn voor klei dijken (1A en 1B)



Figuur 3.13: Freatische lijn voor zand dijken (2A)



Figuur 3.14: Freatische lijn voor zand dijken (2B)

3.6.1.1 Bijzonderheden

In alle vier gevallen kunnen zich bijzondere situaties voordoen:

Vrij water

Om te voorkomen dat de freatische lijn op het binnentalud uittreedt, wordt hierop gecontroleerd. Indien dit voorkomt, gaat de freatische lijn vanaf uittredepunt de hoogtegeometrie volgen (op 1 cm lager). Vrij water in de polder mag voorkomen, maar het polderpeil/slootpeil wordt wel begrensd door de Z-waarde van Maaiveld binnenwaarts (rechter geometriegrens).

Geen berm, geen sloot

Wanneer er geen berm aanwezig is, komt punt D te vervallen. Wanneer er geen sloot is, wordt vanaf punt E de hoogtegeometrie gevolgd (1 cm lager).

Oplopende freatische lijn (PL1)

Er wordt gecontroleerd of de punten D en E van de freatische lijn niet lager liggen dan polderpeil/slootpeil. Mocht dit voorkomen, worden deze punten verhoogd naar polderpeil/slootpeil. Aanvullend hierop wordt gecontroleerd of de punten D en E niet hoger liggen dan het volgende punt. NB: Punt C mag wel hoger liggen dan B.

3.6.2 Schematisatie van de stijghoogtelijnen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de stijghoogtelijnen en de schematisatie ervan.

Stijghoogtelijn	Omschrijving
PL1	Voor stabiliteitsberekeningen de stationaire freatische lijn. De schematisatie van deze lijn is beschreven in paragraaf 3.6.1
PL2	De stijghoogte aan de bovenkant van de indringingslaag op de onderste aquifer (watervoerende zandlaag). De PL2 is niet afhankelijk van de stijghoogte in de onderliggende aquifer. De gebruiker vult de stijghoogte PL2 buitenwaarts en binnenwaarts in, evenals de dikte van de indringingslaag (in m). Voor PL2 wordt het minimum genomen van de opgegeven PL2 en de opgegeven GHW. PL2 wordt alleen gegenereerd wanneer deze dikte groter is dan nul meter, zie paragraaf 3.6.2.1
PL3	Stijghoogte in de onderste aquifer, oftewel onderste watervoerende zandlaag. De waarde wordt gelijk geacht aan de buitenwaterstand. Het verloop van PL3 waarde is afhankelijk van de opgegeven leklengte en eventuele opdrijfcorrectie, zie paragraaf 3.6.2.2 . De laag met PL3 moet in D-Soil Model aangevinkt worden als aquifer.
PL4	Stijghoogte in de tussenliggende zandlaag. De waarde wordt gelijk geacht aan de buitenwaterstand. Het verloop van PL4 waarde is afhankelijk van de opgegeven leklengte en eventuele opdrijfcorrectie, zie paragraaf 3.6.2.3 . Indien alleen de tussenliggende zandlaag relevant is voor de stabiliteitsberekening, wordt aangeraden de geometrie te versimpelen door onderliggende lagen niet in de schematisatie mee te nemen. De schematisatie met een tussenliggende zandlaag is namelijk complexer dan zonder. De laag met PL4 moet in D-Soil Model aangevinkt worden als aquifer.

Tabel 3.4: Overzicht stijghoogtelijnen

3.6.2.1 Schematisatie van stijghoogtelijn indringingslaag

Voor de schematisatie van de stijghoogtelijn van de indringingslaag (PL2) wordt een lineaire interpolatie gedaan tussen PL2 buitenwaarts en PL2 binnenwaarts.

$$\varphi_2(X) = \frac{\varphi_{2;\text{binnenwaarts}} - \varphi_{2;\text{buitenwaarts}}}{X_{\text{rechts}} - X_{\text{links}}} \times (X - X_{\text{links}}) + \varphi_{2;\text{buitenwaarts}} \quad (3.1)$$

Point	X-coördinaat [m]	Z-coördinaat [m NAP]
Links	X_{links} is de linker geometriegrens	$Z_{\text{links}} = \varphi_{\text{PL2;buitenwaarts}}$ met $\varphi_{\text{PL2;out}} < \text{GHW}$
Rechts	X_{rechts} is de rechter geometriegrens	$Z_{\text{rechts}} = \varphi_{\text{PL2;binnenwaarts}}$ met $\varphi_{\text{PL2;in}} < \text{GHW}$

Tabel 3.5: Punten van stijghoogtelijn PL2

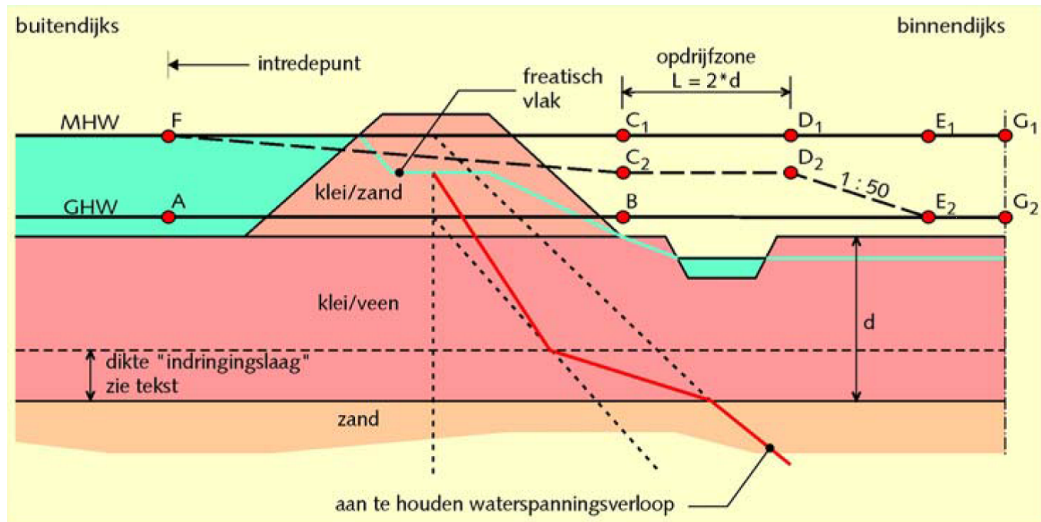
3.6.2.2 Schematisatie van stijghoogtelijnen in aquifers

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gegenereerde punten van de stijghoogtelijnen. NB: voor buitenwaterstand wordt het symbool MHW gebruikt.

Punt	Geval 1A and 2A Dijk op klei (zie figuur 3.15)	Geval 1B Klei dijk op zand (zie figuur 3.16)
Linker geometriegrens	$\varphi_3 = \varphi_4 = \text{MHW}$	
Teen dijk buitenwaarts	$\varphi_3 = \varphi_4 = \text{MHW}$	
Kruin buiten-talud	$\varphi_3 = \varphi_{3;\text{buitenkruin}}$ (zie vergelijking 3.2) $\varphi_4 = \varphi_{4;\text{buitenkruin}}$ (zie vergelijking 3.3)	Lineaire interpolatie
Teen dijk binnenwaarts	φ_3 berekend met vergelijking 3.4 φ_4 berekend met vergelijking 3.5 of lineaire interpolatie wanneer opdrijven voorkomt in een opdrijfzone van 20 m (voor kortere zone, wordt geen interpolatie toegepast).	$\varphi_3 = \varphi_4 = \text{hoogtegeometrie}$
Eerste opdrijflocatie	φ_3 berekend met vergelijking 3.4 en maximaal de grenspotentiaal. φ_4 berekend met vergelijking 3.5 en maximaal de grenspotentiaal.	niet van toepassing
Eerste opdrijflocatie + 20 m	φ_3 bereken met vergelijking 3.4 en maximaal de grenspotentiaal. φ_4 berekend met vergelijking 3.5 en maximaal de grenspotentiaal.	niet van toepassing
Rechter geometriegrens	φ_3 berekend met vergelijking 3.4 en voor situaties met opdrijven, gaat de PL3 met helling 1:100 naar beneden rekening houdend met de grenspotentiaal in de opdrijfzone. φ_4 berekend met vergelijking 3.5 voor situaties met opdrijven, gaat de PL4 met helling 1:100 naar beneden rekening houdend met de grenspotentiaal in de opdrijfzone	$\varphi_3 = \varphi_4 = \text{hoogtegeometrie}$.

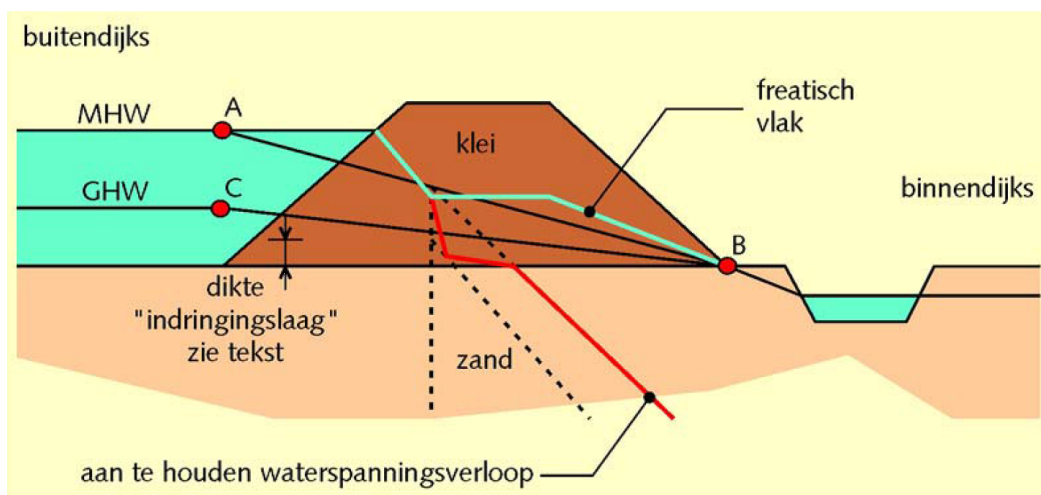
Tabel 3.6: Punten van stijghoogtelijnen PL3 en PL4

NB: Bij geval Zanddijk op zand (2B) wordt alleen de freatische lijn (PL1) aangemaakt, zelfs wanneer er meer aquifers aanwezig zijn. En de waterspanning wordt hydrostatisch over de geometrie verdeeld.



Figuur 3.15: Schematisatie van de stijghoogtelijnen voor dijken op klei (geval 1A and 2A)

Opmerking bij [figuur 3.15](#): De oprijfzone in BM - Macrostabiliteit is vastgesteld op 20 m. De helling voor het verloop van de stijghoogtelijn na de binnentoe of na de Eerste oprijflocatie+20m bedraagt 1:100, geen 1:50.



Figuur 3.16: Schematisatie van de stijghoogtelijnen voor kleidijk op zand (geval 1B)

De formules voor de berekeningen φ_3 en φ_4 zijn:

$$\varphi_{3;\text{kruin buitentalud}} = \frac{\text{MHW} - \text{GHW}}{1 + \frac{\lambda_{\text{PL3;buitenwaarts}}}{\lambda_{\text{PL3;binnenwaarts}}}} + \varphi_2 (X_{\text{Kruin buitentalud}}) \quad (3.2)$$

$$\varphi_{4;\text{kruin buitentalud}} = \frac{\text{MHW} - \text{GHW}}{1 + \frac{\lambda_{\text{PL4;buitenwaarts}}}{\lambda_{\text{PL4;binnenwaarts}}}} + \varphi_2 (X_{\text{Kruin buitentalud}}) \quad (3.3)$$

$$\varphi_3(X) = [\varphi_{3;\text{kruin buitentalud}} - \varphi_2(X_{\text{kruin buitentalud}})] \times \exp\left(\frac{-\Delta X}{\lambda_{\text{PL3;binnenwaarts}}}\right) + \varphi_2(X) \quad (3.4)$$

$$\varphi_4(X) = [\varphi_{4;\text{kruin buitentalud}} - \varphi_2(X_{\text{kruin buitentalud}})] \times \exp\left(\frac{-\Delta X}{\lambda_{\text{PL4;binnenwaarts}}}\right) + \varphi_2(X) \quad (3.5)$$

waarbij:

$\lambda_{\text{PL3;binnenwaarts}}$	opgegeven lek lengte PL3 Binnenwaarts, zie paragraaf 3.5.2 ;
$\lambda_{\text{PL3;buitenwaarts}}$	opgegeven lek lengte PL3 Buitenwaarts, zie paragraaf 3.5.2 ;
$\lambda_{\text{PL4;binnenwaarts}}$	opgegeven lek lengte PL4 Binnenwaarts, zie paragraaf 3.5.2 ;
$\lambda_{\text{PL4;buitenwaarts}}$	opgegeven lek lengte PL4 Buitenwaarts, zie paragraaf 3.5.2 ;
GHW	zie paragraaf 3.5.2 ;
MHW	buitenwaterstand in paragraaf 3.5.2 ;
$\varphi_2(X)$	is PL2 op locatie X , berekend op basis van de gradient PL2 tussen de opgegeven $\varphi_{2;\text{buitenwaarts}}$ and $\varphi_{2;\text{binnenwaarts}}$, zie paragraaf 3.6.2.1 ;
ΔX	is de afstand tussen punt X en de kruin buitentalud.

Wanneer er geen PL2 is (omdat de indringingslengte 0m is), wordt het polderpeil/slootpeil gebruikt in [vergelijking 3.2](#) tot en met [vergelijking 3.5](#).

3.6.2.3 Controle op opdrijven

Wanneer er wordt gekozen voor 'PL3 en PL4 voor opbarsten' worden er door de Waternetcreator berekeningen gemaakt of er opdrijven optreedt (stijghoogte > grenspotential). De berekeningen worden uitgevoerd vanaf de binnenteen tot de geometriegrens. Hiervoor wordt de formule uit het VTV2006 [V&W, 2007] gebruikt en de initiële schematisatie van de stijghoogten:

$$\text{opdrukveiligheid} = \frac{\sigma_g}{\sigma_w} \quad (3.6)$$

Indien er opdrijven wordt berekend, reduceert de Waternetcreator de PL3 of PL4 naar een waarde waarbij opdrijven net niet meer optreedt (de grenspotential, oftewel labiel evenwicht).

Eerste opdrijflokatie

De controle op opdrijven wordt voor elke geometriepunt gedaan, beginnende bij de binnenteen, of om de 50 cm indien de geometriepunten verder uit elkaar liggen, tot de rand van de geometrie.

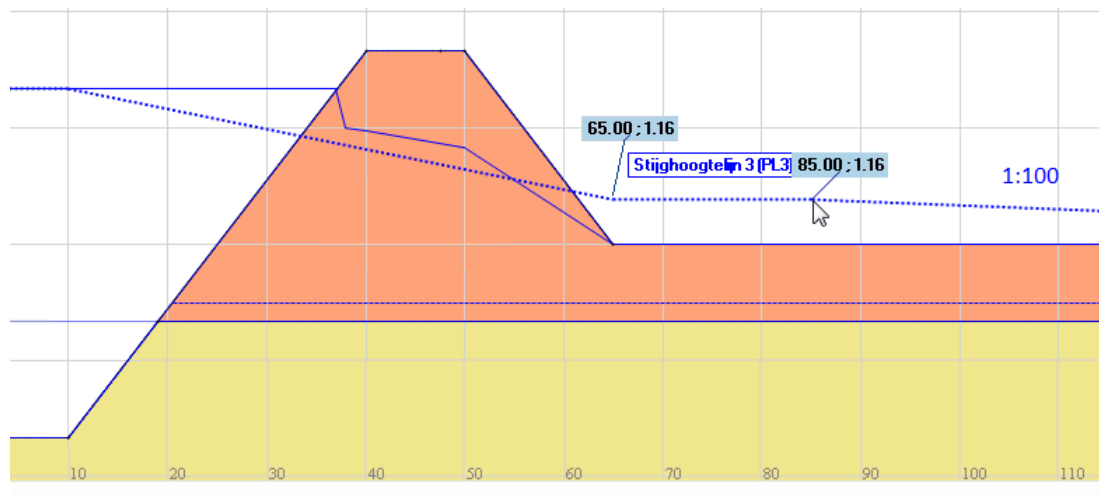
Opdrijfzone

Wanneer er geen sloot is, wordt een opdrijfzone van 20 meter aangenomen; vanaf de eerste opdrijflokatie wordt de stijghoogte gecorrigeerd voor opdrijven tot maximaal 20 meter verder. Na de laatste opdrijflokatie (of het einde van de opdrijfzone) verlopen PL3 en PL4 met een helling van 1:100 naar PL2.

Zie [figuur 3.17](#), in dit voorbeeld wordt vanaf de binnenteen gecorrigeerd (x=65) tot 20 meter

verder ($x=85$), daarna gaat de stijghoogte met een helling van 1:100 naar de waarde van PL2 binnenwaarts (-2 m tov NAP in dit voorbeeld).

Let op: de opdrijfzone en de helling na de laatste opdrijflocatie zijn dus niet gelijk aan de aangegeven waarden in [figuur 3.15](#).



Figuur 3.17: Reductie stijghoogte bij opdrijven. De Waternetcreator controleert van de binnenteen tot het einde van het profiel op opdrijven en past daarop de stijghoogte aan tot labiel evenwicht

Wanneer er een sloot aanwezig is, kan de opdrijfzone langer zijn dan 20 meter. Wanneer de eerste opdrijflocatie tussen binnenteen en sloot ligt, wordt namelijk de opdrijfzone toegepast vanaf de insteek sloot dijkzijde. Na de laatste opdrijflocatie (of het einde van de opdrijfzone) verlopen PL3 en PL4 met een helling van 1:100 naar PL2.

3.6.3 Schematisatie van de waternetlijnen en verticaal verloop waterspanningen

Het waternet wordt geschematiseerd vanaf de onderkant van de geometrie naar de bovenkant, oftewel de hoogste geometrie (maaiveld).

3.6.3.1 Waternetlijn onderste aquifer

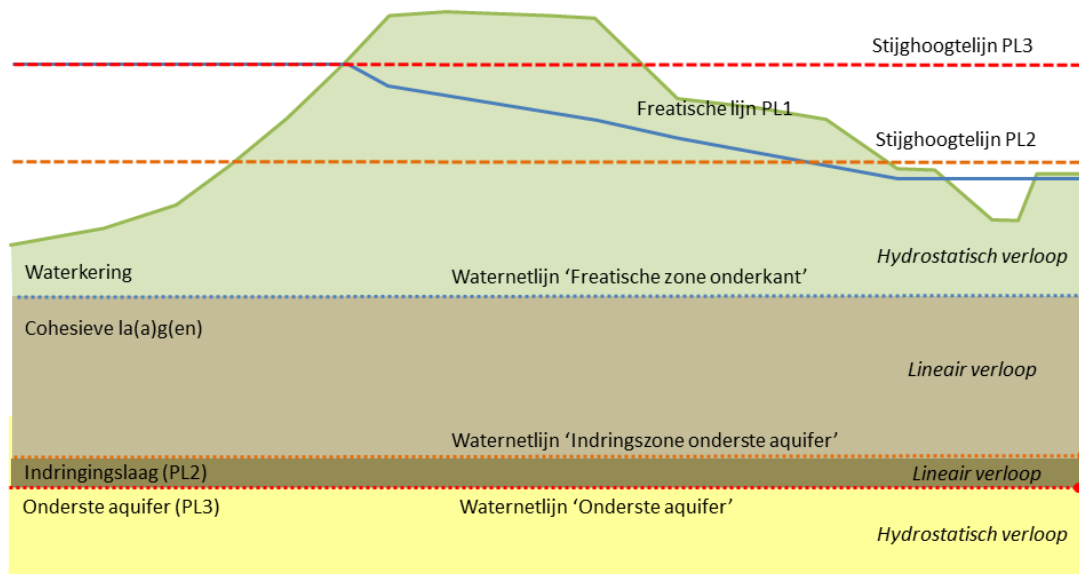
De stijghoogtelijn PL3 wordt toegekend aan de bovenkant van de onderste aquifer (watervoerende zandlaag). De waternetlijn voor PL3 valt dus samen met de laagscheiding van de onderste aquifer en de bovenliggende cohesieve lagen. Zie [figuur 3.18](#).

Let op: de aquiferlaag moet doorlopend zijn van de linker geometriegrens tot de rechter geometriegrens.

Indien meerdere aquifers op elkaar liggen, wordt dezelfde stijghoogte voor alle lagen gehanteerd met een hydrostatisch verloop over de diepte. Waarbij de bovenkant van bovenste aquifer de stijghoogtelijn krijgt toegekend. Oftewel de waternetlijn is gelijk aan de geometrieliijn van de bovenste aquifer.

3.6.3.2 Waternetlijn Indringingszone

De indringingslaag is gekoppeld aan de stijghoogtelijn PL2. De waternet lijn Indringingszone onderste aquifer wordt gegenereerd op de opgegeven afstand (indringingslengte), oftewel de bovenkant van de indringingslaag. Zie [figuur 3.18](#)

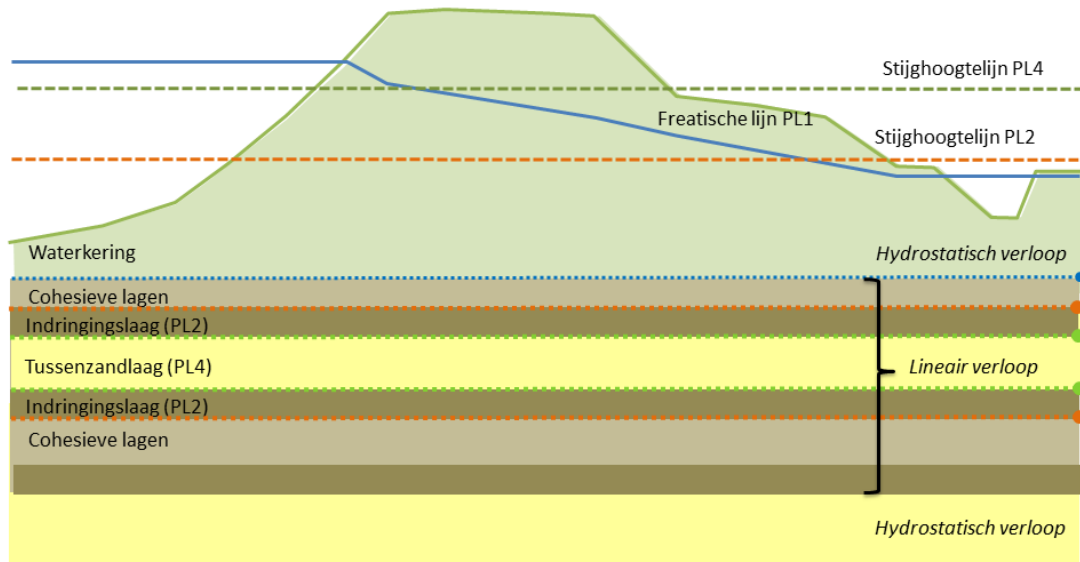


Figuur 3.18: Stijghoogtelijnen en waternetlijnen PL2 en PL3

3.6.3.3 Waternetlijn Tussenliggende aquifer

Indien er een tussenzandlaag (tussenliggende aquifer) aanwezig is, wordt hier PL4 aan toegekend, aan bovenzijde laag. Maar de indringingslagen zijn ook aanwezig bij de tussenliggende aquifer, zowel aan de onderkant als de bovenkant, zie [figuur 3.19](#). Bij de aanwezigheid van een tussenzandlaag worden dan ook drie extra waternetlijnen/gebieden aangemaakt;

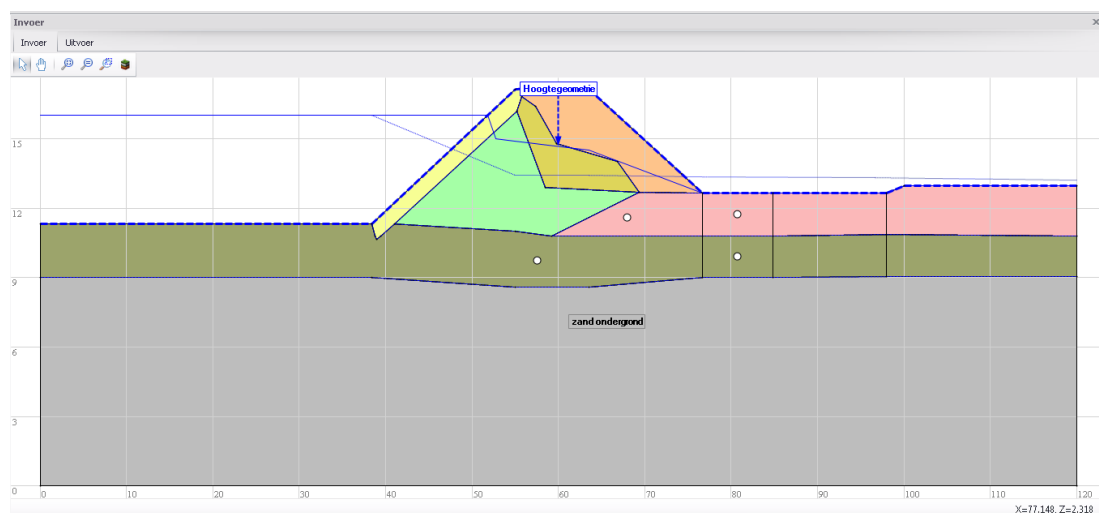
- ◇ Waternetgebied tussen-aquifer - gekoppeld aan stijghoogtelijn PL4
- ◇ Indringingszone tussen-aquifer onderkant - gekoppeld aan stijghoogtelijn PL2
- ◇ Indringingszone tussen-aquifer bovenkant - gekoppeld aan stijghoogtelijn PL2



Figuur 3.19: Waternetlijnengebied tussenzandlaag (groene stippellijn) en waternetlijnen indringing (rode stippellijnen)

3.6.3.4 Waternetlijn freatische lijn

De waternetlijnen om het gebied met de stijghoogte PL1 aan te geven worden onderverdeeld in een 'Freatische zone bovenkant' en één of meer waternetlijnen 'Freatische zone onderkant'. In de freatische zone wordt een hydrostatisch druk verloop geschematiseerd. De 'Freatische zone bovenkant' komt overeen met de hoogtegeometrie en wordt ook zo weergegeven in de BM - Macrostabiliteit, zie [figuur 3.20](#)



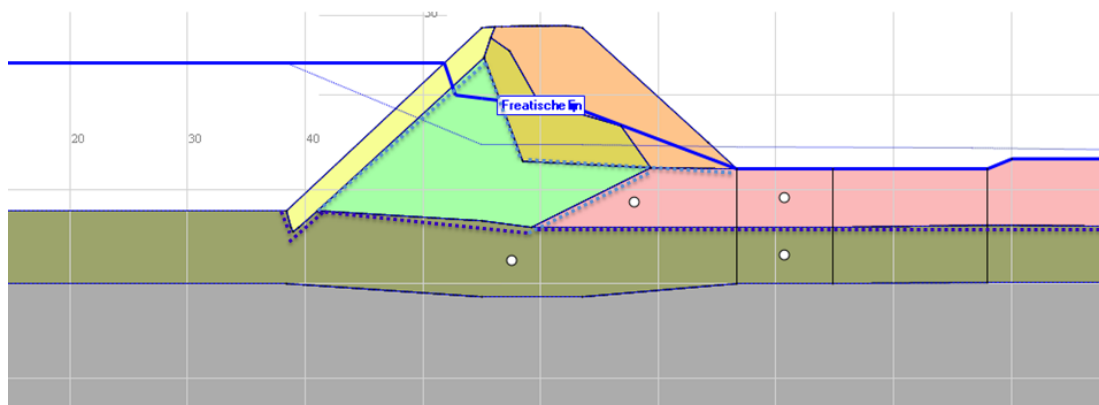
Figuur 3.20: Waternetlijn 'Freatische zone bovenkant', gelijk aan hoogtegeometrie

De waternetlijnen 'Freatische zone onderkant' worden toegekend aan onderkant van grondlagen waar de freatische lijn doorheen loopt. Dit kunnen er dus meerdere lijnen zijn, aangegeven door een volgnummer achter de naam. In onderstaand voorbeeld (dwp4) zijn zes waternetlijnen voor de PL1 aanwezig. In [figuur 3.21](#) is één daarvan, de Freatische zone onderkant (2)', aangegeven. Dit is de onderkant van de lichtgroene grondlaag.



Figuur 3.21: Waternetlijn 'Freatische zone onderkant(2)'

Zo krijgt elke grondlaag, waar de freatische lijn doorheen gaat een waternetlijn toegekend aan de onderkant. Dit heeft tot resultaat dat de onderkant van de freatische zone overeenkomt met de onderste lijnstukken (donkerblauw in [figuur 3.22](#)) van deze waternetlijnen.

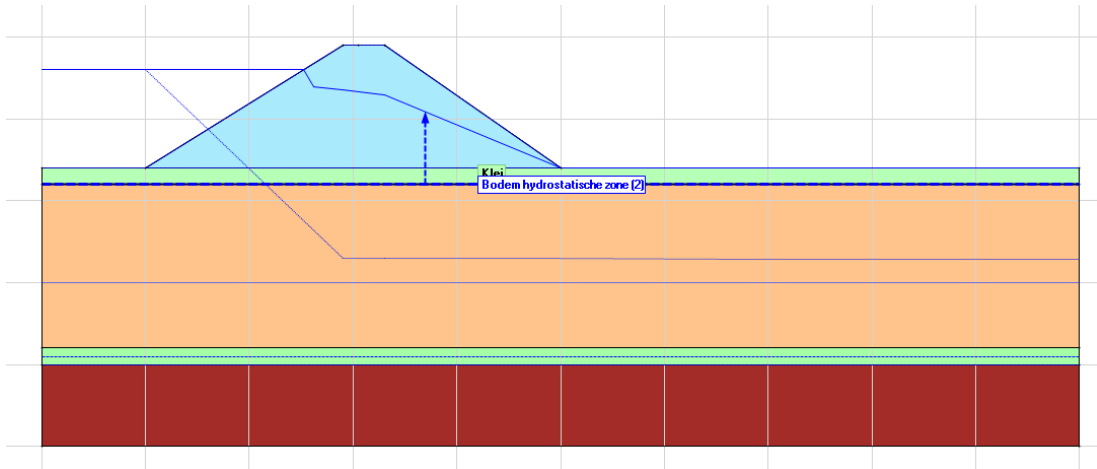


Figuur 3.22: Waternetlijnen PL1 (alle stippellijnen) Freatische zone onderkant (donkerblauwe lijn),

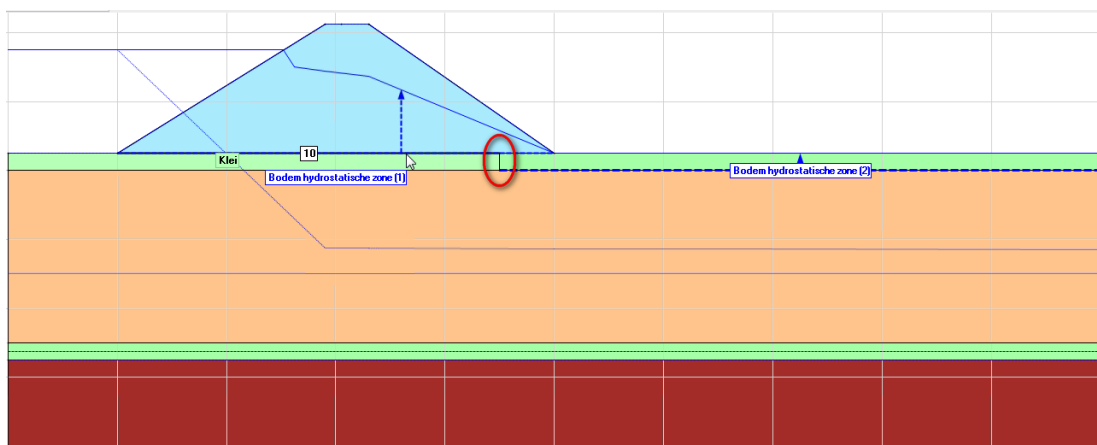
Bij deze manier van genereren, kan het dus voorkomen dat een laag, waar PL1 niet doorheen gaat, niet in de freatische zone ligt, terwijl de gebruiker dat wel zou verwachten. En een verschil in waterspanningen kan leiden tot een verschil in stabiliteitsfactor.

Onderstaand voorbeeld illustreert dit. Voorbeeld 1 (zie [figuur 3.23](#)) wordt de waternetlijn voor de onderkant van de freatische zone geschematiseerd aan de bovenkant van cohesieve lagen

("Bodem hydrostatische zone[2]"). Door een extra laagscheiding (rode cirkel [figuur 3.24](#)), om bijvoorbeeld andere sterkteparameters onder- en naast de dijk toe te kennen, verandert de ligging van de waterlijn 'Freatische zone onderkant', zie voorbeeld 2, Waarbij voorbeeld 1 resulteert in een stabiliteitsfactor van 0.75 en voorbeeld 2 in 0.80.



Figuur 3.23: Voorbeeld 1



Figuur 3.24: Voorbeeld 2

Door in D-Soil Model aan te geven dat de ook de linker laag van 'klei' hydrostatisch verloop kent, komt de Bodem hydrostatische zone weer op het gewenste vlak te liggen. Let op: de interpolatie methode dient dan voor alle lagen, waarvoor de stijghoogte PL1 geldt, ingevuld te worden.

3.6.3.5 Verticaal verloop

Voor stabiliteitsberekeningen worden de stijghoogten in de cohesieve lagen (non-aquifers) in verticale richting geschematiseerd middels lineaire interpolatie (lineair verloop). In de lagen in de freatische zone en in de aquifers wordt automatisch een hydrostatisch verloop geschematiseerd. Voor andere lagen, kan de gebruiker in D-Soil Model aangegeven of het hydrostatisch verloop moet worden toegepast, zie [paragraaf 3.6.3.4](#).

4 Schuifsterktemodellen

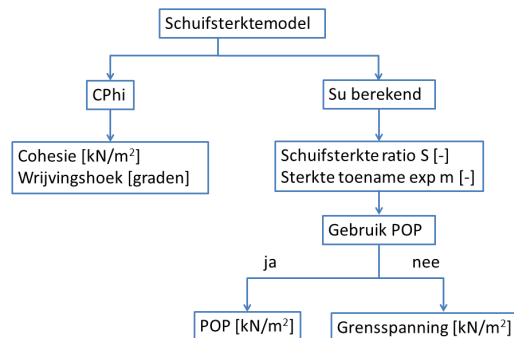
Materiaaleigenschappen worden per materiaal opgegeven. Het schuifsterktemodel is één van deze materiaaleigenschappen. In de BM - Macrostabieliteit kan met de volgende schuifsterktemodellen gerekend worden:

- 1 Gedraineerd: C-Phi, zie [paragraaf 4.1](#)
- 2 Ongedraineerd: Su-berekend, zie [paragraaf 4.2](#) Waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen:
 - ◇ Su-berekend met gebruik van grensspanningspunten
 - ◇ Su-berekend met gebruik van POP

Voor de ongedraineerde schuifsterktemodellen dient de schuifsterkte onder dagelijkse omstandigheden bepaald te worden. Hierom komt in [paragraaf 4.2.3](#) het waternet onder dagelijkse omstandigheden aan de orde.

Afhankelijk van de ligging onder of boven de freatische lijn, kan het schuifsterktemodel variëren, zie [paragraaf 4.3](#).

De relatie tussen de schuifsterktemodellen en de benodigde invoer is in onderstaand schema weergegeven:



Figuur 4.1: Schuifsterktemodel

4.1 Gedraineerd: C-Phi

Wanneer voor het schuifsterktemodel 'C-Phi' wordt gekozen, rekt BM - Macrostabieliteit de schuifsterkte langs het glijvlak met de volgende vergelijking uit:

$$\tau_i = c_i \frac{\cos \psi_i \cdot \cos \varphi_i}{1 - \sin \psi_i \cdot \sin \varphi_i} + \sigma'_{n,i} \frac{\cos \psi_i \cdot \sin \varphi_i}{1 - \sin \psi_i \cdot \sin \varphi_i} \quad (4.1)$$

waarbij:

c_i	cohesie aan de onderkant van de lamel i , in kN/m ² ;
φ_i	hoek van wrijving aan de onderkant van de lamel i , in graden;
ψ_i	dilatantie aan de onderkant van de lamel i , in graden;
$\sigma'_{n,i}$	normale effectieve spanning aan de onderkant van de lamel i , in kN/m ² .

In BM - Macrostabieliteit wordt echter uitgegaan van non-associatief gedrag, oftewel $\varphi \neq \psi$,

waarbij $\psi = 0$. Daarom is de berekening van de schuifsterkte volgens de vergelijking:

$$\tau = c \cdot \cos \varphi + \sigma'_n \cdot \sin \varphi. \quad (4.2)$$

4.2 Ongedraineerd: Su-berekend

De formule voor de ongedraineerde schuifsterkte (s_u) is als volgt:

$$s_u = \sigma'_{vi} \times S \times \text{OCR}^m \quad (4.3)$$

waarbij:

$$\text{OCR} = \sigma'_{vy} / \sigma'_{vi}$$

$$\sigma'_{vy} = \sigma'_{vd} + \text{POP}$$

$$\text{POP} = \sigma'_{vy} - \sigma'_{vd}$$

Symbolen:

S	Ongedraineerde schuifsterkte ratio (normaal geconsolideerd) [kN/m ²]
m	Schuifsterkte toename exponent [-]
POP	Pre overburden pressure (onder dagelijkse omstandigheden)[kN/m ²]
OCR	Overconsolidatie ratio [-]
σ'_{vy}	Grensspanning [kN/m ²]
σ'_{vi}	Effectieve verticale spanning [kN/m ²]
σ'_{vd}	Effectieve verticale spanning onder dagelijkse omstandigheden[kN/m ²]

Omdat de effectieve spanningen onder dagelijkse omstandigheden benodigd zijn, dient de invoer voor het waternet onder dagelijkse omstandigheden te worden opgegeven; zie [paragraaf 4.2.3](#)

In het preproces worden grensspanningen omgezet naar POP-waarden. In de daadwerkelijke stabiliteitsberekening worden de POP-waarden gebruikt om op lamelniveau de OCR te berekenen, om daar vervolgens de schuifsterkte mee te bepalen.

4.2.1 Su-berekend met grensspanning

Wanneer het schuifsterktemodel 'Su berekend' is gekozen en 'Gebruik POP' is niet aangevinkt, dienen er op één of meerdere geometriepunten de grensspanningen opgegeven te zijn, grensspanningspunten genoemd. BM - Macrostabiliteit gaat, aan de hand van deze grensspanningspunten de POP-waarden bepalen aan de hand van onderstaande methode. Dit gebeurt aan de hand van de effectieve spanningen onder dagelijkse omstandigheden.

4.2.1.1 Procedure voor bepaling van de POP uit de lijst grensspanningspunten σ'_{vy} -metingen

De POP wordt per grensspanningspunt berekend en wordt toegekend aan de hele laag waar deze in staat. Optimaal is dus dat er minimaal 1 grensspanningspunt per laag gedefinieerd wordt. Als er meerdere lagen met dezelfde materiaalsoort zijn of er meerdere grensspanningspunten in één laag zijn, wordt de POP voor deze materiaalsoort gemiddeld.

Daar worden de volgende stappen voor gevolgd:

- ◇ Ten eerste wordt de geometrie opgedeeld in kolommen, aan de hand van knikpunten in de geometrie en de freatische lijn. Deze kolommen worden in gebieden verdeeld aan de hand van laagscheidingen en freatische lijn, zie [appendix A](#).
- ◇ Vervolgens worden alle POP-waarden berekend voor de grensspanningspunten, waar de grensspanning dus is opgegeven.
- ◇ Daarna, per rij van gebieden, oftewel per grondlaag:
 - Indien er meerdere POP waarden zich in hetzelfde materiaal en in dezelfde kolom bevinden, doordat er meerdere grensspanningspunten zijn, wordt het gemiddelde van deze POP-waarden genomen.
 - Wanneer er geen POP-waarde beschikbaar is voor een gebied, wordt de POP toegekend van het grensspanningspunt met een X-coördinaat, dichtstbij de X-coördinaat van het midden van het gebied.
- ◇ Tenslotte, per kolom, wordt het volgende gedaan voor gebieden zonder POP-waarde:
 - De gebieden gelegen boven het hoogste gebied met een POP-waarde, krijgen die POP-waarde.
 - De gebieden, gelegen onder het laagste gebied met een POP-waarden, krijgen die POP-waarde.
 - De tussengelegen gebieden, zonder POP, krijgen een geïnterpoleerde waarde van omliggende POP-waarden, op basis van de Z-coördinaat van het midden van het gebied.
- ◇ In het geval dat er gebieden zonder POP-waarde overblijven (dat kan voorkomen in een kolom zonder gebieden met een POP), wordt voor alle gebieden een POP-waarde overgenomen van de dichtstbij gelegen POP-waarden.

Bij het bepalen van de POP-waarde van een laag, wordt geen rekening gehouden met verschil in laagdikte en/of hoogtegeometrie.

Let op: Wanneer de grensspanning gemeten is voor een geometriepunt op een laagscheiding, kan er niet bepaald worden bij welke laag deze grensspanning hoort. In dat geval wordt een validatie mededeling gedaan, waarbij een berekening maken niet mogelijk is.

4.2.2 Su-berekend met POP

Wanneer het schuifsterktemodel 'Su berekend' wordt gekozen en 'Gebruik POP' is aangevinkt, worden van bovenstaande procedure ([paragraaf 4.2.1.1](#)) de eerste twee stappen overgeslagen en wordt de POP-waarden voor het gehele dwarsprofiel bepaald.

4.2.3 Waternet onder dagelijkse omstandigheden

Omdat voor het ongedraineerde schuifsterkte model de effectieve spanningen onder dagelijkse omstandigheden nodig zijn, dient ook het waternet onder dagelijkse omstandigheden gegenereerd te worden. De invoer voor het waternet is beschreven in [paragraaf 3.5](#) en de werking van de waternet creator is beschreven in [paragraaf 3.6](#).

De invoer voor beide waternetten kunnen gecopieerd worden (naar beide kanten) en aangepast worden waar nodig; buitenwaterstand, offsets freatische lijn (PL1) en polder/slootpeil.

De default offset van de freatische lijn (PL1) verschilt alleen voor de offset onder de teen binnenwaarts:

Punt	Geval 1A en 1B (zie: figuur 3.12)	Geval 2A (zie: figuur 3.13)	Geval 2B (zie: figuur 3.14)
E	Maaiveld niveau teen binnenwaarts minus offset, met default offset 0.5 m.	Maaiveld niveau teen binnenwaarts minus offset, met default offset $-0.25 \times (Z_A - Z_E)$.	Maaiveld niveau teen binnenwaarts minus offset, met default offset $-0.25 \times (Z_A - Z_E)$.

Tabel 4.1: Verschil in offset voor schematisatie freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden

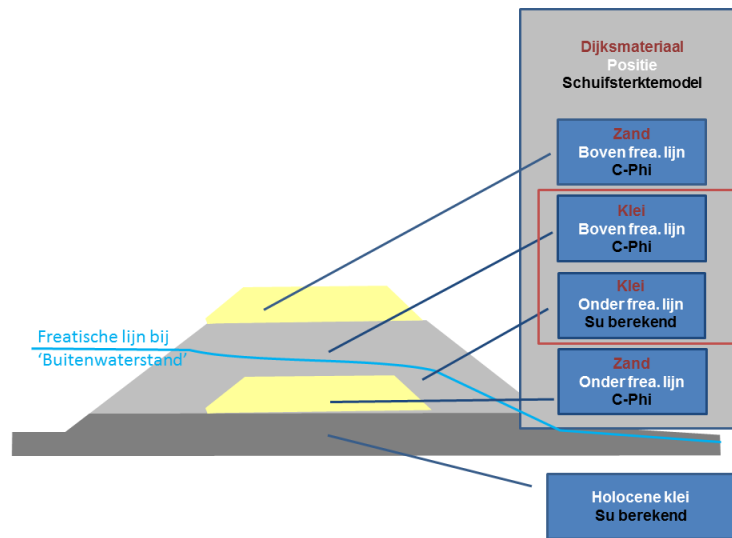
Wanneer er geen sloot aanwezig is in de geometrie, wordt de offset van 50 cm bij punt E doorgezet en volgt de freatische lijn het maaiveld met een offset van 50 cm.

De schematisatie van de stijghoogten van PL3 en PL4 is gelijk aan de methode beschreven in [paragraaf 3.6.2](#) met de volgende uitzondering voor scenario's 1A, 1B en 2A:

$$\varphi_3 = \varphi_4 = \text{Buitenwaterstand}$$

4.3 Schuifsterktemodel in lagen met de freatische lijn

Afhankelijk van de ligging van de freatische lijn tijdens de beoordelingssituatie, kan het schuifsterktemodel ongedraineerd of gedraineerd zijn. Indien de gebruiker de toekenning van het schuifsterktemodel wil af laten hangen van de ligging van de freatische lijn, kan hij voor de betreffende lagen het schuifsterktemodel 'Cphi of Su berekend' kiezen bij de materiaaleigenschappen van de laag. Dit dient, net als alle materiaaleigenschappen, in D-Soil Model te worden opgegeven. In de BM - Macrostablieiteit wordt dan, afhankelijk van de ligging van de freatische lijn voor deze laag hetzij 'CPhi' (boven de freatische lijn), hetzij 'Su berekend' (onder freatische lijn) als schuifsterktemodel gehanteerd. In onderstaande afbeelding ([figuur 4.2](#)) is voor het rood-omkaderde 'Klei' het schuifsterktemodel 'CPhi of Su berekend' opgegeven, zodat het schuifsterktemodel wordt aangepast aan de hand van de ligging van de freatische lijn tijdens de beoordelingssituatie.



Figuur 4.2: Schuifsterktemodel afhankelijk van freatische lijn

5 Referenties

[TAW, 2004]

Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (nu: Expertise Netwerk Waterkeringen), september 2004, ISBN-90-369-5565-3

[V&W, 2007]

Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen 2006 (VTV2006), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007, ISBN-978-90-369-5762-5

[Deltares, 2016a]

Schematiseringshandleiding Macrostabieleit, Deltares rapport 1220083-008, februari 2016

[Deltares, 2016b]

User Interface Macro Stability - Functional Design, Deltares rapport 1230088-040, juni 2016

[Deltares, 2016c]

D-Soil Model, Ondergrondschematiseringsproces voor geotechnische toepassingen, Gebruikershandleiding, juli 2016, Deltares

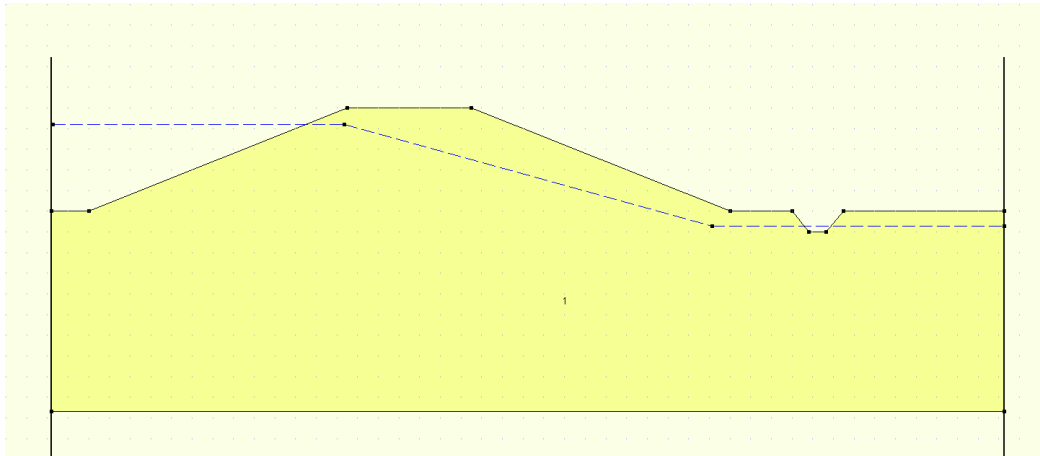
[I&M, 2016]

Procedure beoordeling veiligheid primaire waterkeringen (Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 Bijlage I Procedure). april 2016 (concept), Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag



A Bepaling van spanningsgrid

Tijdens de berekeningen, dienen de lamellen voorzien te worden van spanningen. Het 'pre-processen' van deze spanningen vermindert de rekentijd. De lokatie waar de spanningen bepaald moeten worden, is niet van te voren bekend. Wanneer spanningen berekend worden voor representatieve gebieden in de geometrie, hoeven deze alleen nog lineair geïnterpoleerd te worden binnen dat gebied. In [Figuur A.1](#) wordt een voorbeeld getoond. [Figuur A.2](#) toont de knikpunten van de geometrie. Deze punten zijn het begin van de bepaling van het spanningsgrid.



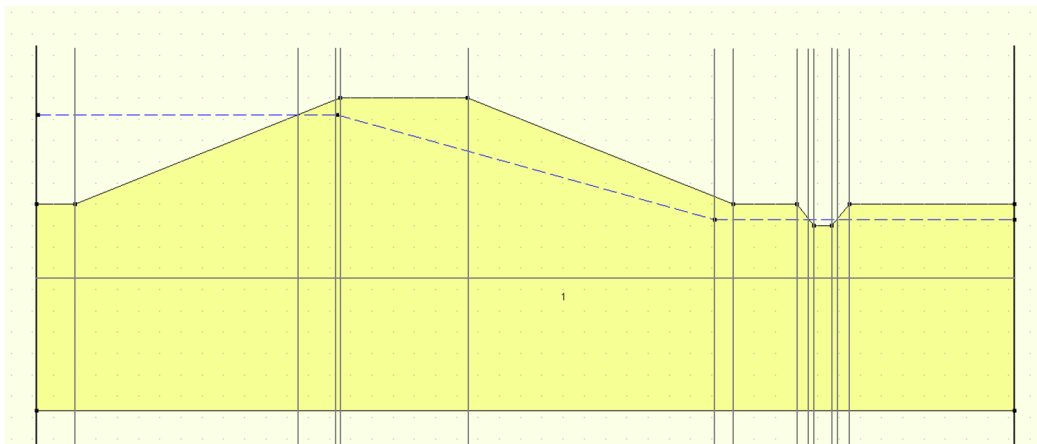
Figuur A.1: Voorbeeld geometrie

A.1 Knikpunten

Een knikpunt van de hoogtegeometrie is een punt dat niet precies tussen twee andere punten op één lijn ligt. Zo'n knikpunt veroorzaakt veranderingen in spanningen in de geometrie en maakt het onmogelijk om lineair te interpoleren. Evenals knikpunten in de freatische lijn. Alle punten in [figuur A.1](#) zijn knikpunten van de hoogtegeometrie en de freatische lijn.

A.2 Kolommen

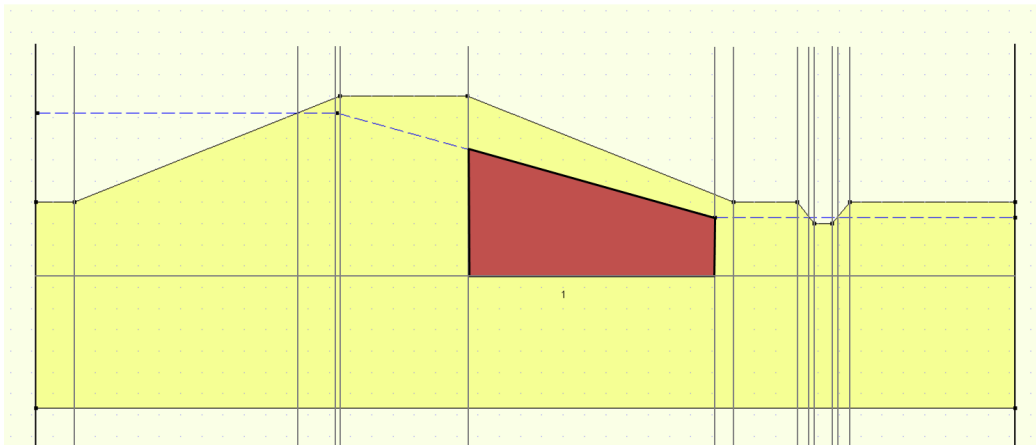
De kolommen worden gedefinieerd door verticale lijnen te tekenen door alle knikpunten en door de snijpunten van de hoogtegeometrie met de waterlijnen. De volgende kolommen (zie [figuur A.2](#)) worden in de voorbeeld geometrie ([figuur A.1](#)) aangemaakt.



Figuur A.2: Kolommen in de geometrie

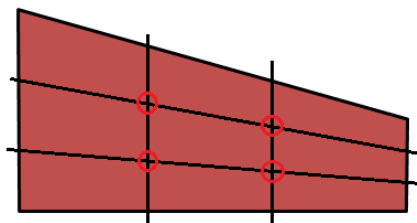
A.3 Gebieden

Een kolom bevat meerdere gebieden, boven elkaar. Gebieden worden aangemaakt omdat een kolom meerdere laagscheidingen en een freatische lijn bevat, er zijn dus variaties in materialen en hydrologische omstandigheden. Binnen een gebied worden de spanningen lineair geïnterpoleerd. [Figuur A.3](#) toont één gebied.



Figuur A.3: Gebieden in geometrie

Voor elk gebied worden vier punten gedefinieerd. Deze punten liggen op 1/3 en 2/3 in de horizontale en verticale richting. Deze punten zijn getekend in [figuur A.4](#). De waarden in deze punten worden bepaald en gebruikt voor extrapolatie voor het bepalen van de waarden op de hoekpunten van het gebied. Het pre-processen gebruikt de waarden op de hoeken van het gebied.



Figuur A.4: Voor elk gebied worden vier punten gedefinieerd

In deze punten, worden de volgende parameters bepaald:

- ◇ X-coördinaat
- ◇ Z-coördinaat
- ◇ Grondspanningen (om het gewicht van de lamel te bepalen)
- ◇ Totale spanningen (grond + eventueel bovenbelasting + eventueel water boven het maai-veld)
- ◇ Effectieve spanningen
- ◇ Waterspanningen
- ◇ Percentage consolidatie ten gevolge van uniforme belasting (indien van toepassing; bij WBI wordt zonder verkeersbelasting gerekend)
- ◇ Cohesie
- ◇ Hoek van inwendige wrijving

- ◇ Ongedraineerde schuifsterkte (indien het ongedraineerde schuifsterkte model gebruikt wordt)
- ◇ Grensspanning (indien het ongedraineerde schuifsterkte model gebruikt wordt)



<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Henri Cormont



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu