

ONDERWERP
Memo ontwerp Noord-Willemskanaal

PROJECTNUMMER
C03081.400001

DATUM
29 juni 2021

ONZE REFERENTIE
D10025053:353

VAN
Arcadis

AAN
Waterschap Hunze en Aa's

provincie Drenthe



Europees Landbouwfonds voor
Plattelandsonwikkeling: Europa
investert in zijn platteland

Aanleiding

De voorliggende memo beschrijft de afronding voor binnen- en buitenwaartse stabiliteitsberekeningen (STBI & STBU) aan het Noord-Willemskanaal. In totaal zijn de ontwerpen van vier doorsnedes, die door Fugro zijn opgesteld in 2020, geoptimaliseerd aan de hand van 'expert judgement'. Hieruit volgt een advies over het ontwerp van de boezemkade. De voorkeur gaat uit naar een dijkontwerp met een buitentalud van 1:1,5 en een binnentalud van 1:2,5, vanwege beperkte ruimte.

Werkzaamheden

Hieronder een overzicht van de uitgevoerde werkzaamheden

- De bestaande stabiliteitsberekeningen zijn gecontroleerd op fouten. Er is gekeken of de waarden in de sommen kloppen met het rapport van Fugro [ref. 1] en de Nota van Uitgangspunten (hierna: NvU) [ref. 2].
- De schematiseringsfactor is aangescherpt op basis van 'expert judgement'. Hiermee is de vereiste stabiliteitsfactor bijgesteld.
- De uitgangspunten van de berekeningen zijn aangepast, hierbij is onderscheid gemaakt tussen uitgangspunten die in alle doorsnedes worden aangepast, en eventuele optimalisaties. Het onderscheid is gemaakt omdat de optimalisaties zijn gebaseerd op expert judgement, terwijl de aanpassing aan de uitgangspunten zijn gedaan op basis van leidraden.
- De ontwerpberekeningen zijn bijgesteld op basis van door jou voorgeschreven optimalisatiemogelijkheden. Alle doorsnedes zijn berekend op STBI & STBU.

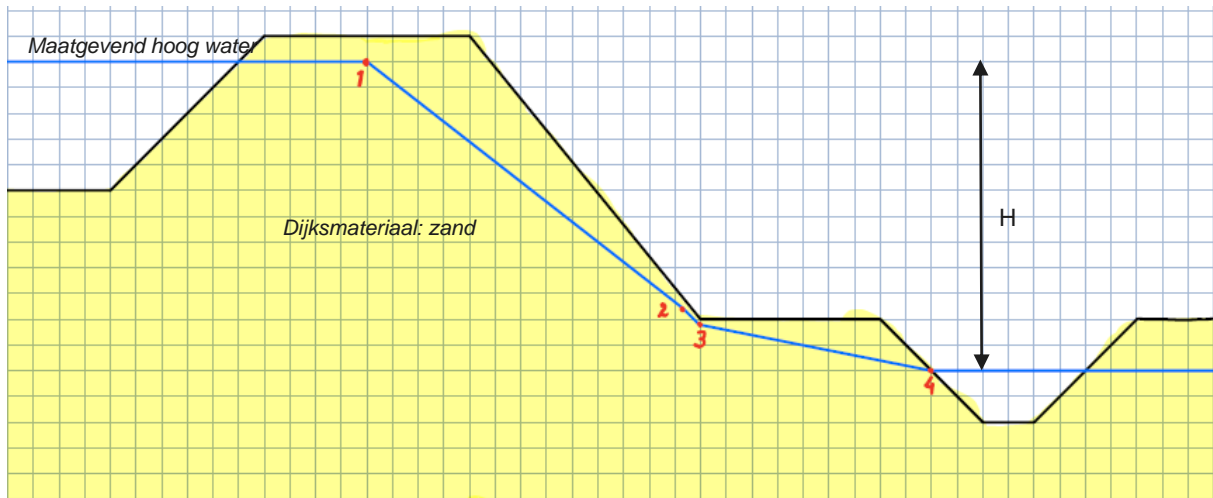
Aanpassing uitgangspunten

De uitgangspunten zijn overgenomen uit de Nota van Uitgangspunten [ref. 2] en het rapport van Fugro [ref. 1]. Op een aantal onderdelen zijn aanpassingen gedaan, deze zijn hieronder beschreven. Deze aanpassingen zijn toegepast op alle doorsnedes.

Freatische waterstand

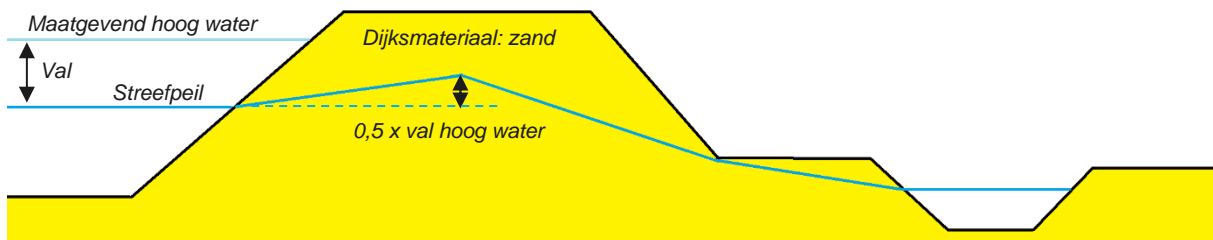
Alle beschouwde doorsnedes hebben een dijk kern van zand. De freatische waterstand voor toetsspoor STBI is weergegeven in Figuur 1. De punten in het figuur geven het volgende weer:

1. MHW niveau;
2. $0,25 * H +$ maaiveldniveau;
3. 0,10 m onder binnenteen;
4. Polderpeil.



Figuur 1: Schematisatie freatische waterstand stabiliteit binnenwaarts (STBI) bij een zandkern

Het is aannemelijk dat de freatische waterstand in de kern onder maatgevende omstandigheden voor toetsspoor STBU mee daalt met de buitenwaterstand. De freatische waterstand is volgens Figuur 2 in de berekening van STBU gezet.



Figuur 2: Schematisatie freatische waterstand stabiliteit buitenwaarts (STBU) bij een zandkern.

Geotechnische parameters

De dilatantie is in de stabiliteitsberekeningen gelijkgesteld aan de hoek van inwendige wrijving. Deze was 0° .

Verkeersbelasting

De verkeersbelasting heeft in de sommen van Fugro een spreiding van 45° . Conform paragraaf 1.5.1 uit de LTV Regionaal - Module B [ref. 4] is de belastingspreiding $26,6^\circ$ voor dijken met een zandige kern. Dit is aangehouden.

Schematiseringsfactor

Voor de berekeningen uit memo is de oorspronkelijke schematiseringsfactor aangescherpt. Fugro heeft in haar rapport een schematiseringsfactor aangehouden van 1,3. Voor de aanscherping is gekeken naar het beschikbare grondonderzoek, zowel naar de dichtheid van de onderzoekspunten als het beeld dat het grondonderzoek geeft van de bodem. Er zijn 8 sonderingen en 10 handboringen uitgevoerd voor 4 kadevakken.

De schematiseringsfactor moet liggen tussen de 1,0 en 1,2. Waarbij een waarde van 1,2 geldt indien er beperkt grondonderzoek beschikbaar is. In dit project hebben we per kadevak de beschikking over 1 tot 3 boringen en 1 tot 3 sonderingen. De afstand tussen de sonderingen en boringen is gemiddeld 150 m. De boringen geven een uniform beeld: met uitzondering van één boringen bevatten de boorstaten uitsluitend zand, zwak tot matig siltig. In de sonderingen is meer variatie aangetroffen, maar per kadevak zijn de sonderingen uniform.

Op basis van 'expert judgement' is de schematiseringsfactor vastgesteld op 1,10.

Vereiste stabiliteitsfactor

Door het aanscherpen van de schematiseringsfactor komt de vereiste stabiliteitsfactor lager uit. De stabiliteitsfactor wordt bepaald middels de volgende formule:

$$\text{Vereiste stabiliteitsfactor} = \text{schadefactor} \times \text{modelfactor} \times \text{schematiseringsfactor}$$

In de onderstaande tabel zijn de factoren weergegeven.

Tabel 1: Opbouw stabiliteitsfactor

Methode	Schadefactor	Modelfactor	Schematiseringsfactor	Eis S.F.
Bishop (B)	0,9	1,0	1,1	0,99
Uplift Van (UV)	0,9	0,95	1,1	0,94

Optimalisatie ontwerp

De aanpassingen in de uitgangspunten zijn doorgevoerd in de berekeningen en indien nodig is nauwkeuriger geschematiseerd. De nauwkeurigere schematisatie is alleen toegepast indien de aanpassing van de uitgangspunten niet tot een voldoende stabiliteitsfactor leidt. De optimalisaties in schematisatie zijn stap voor stap toegepast. Indien optimalisatiestap 1 niet tot een voldoende resultaat leidt, is optimalisatiestap 2 toegepast. Enzovoort tot optimalisatiestap 5. Hieronder een overzicht van de optimalisaties in de schematisatie:

1. Cohesie toevoegen aan het dijksmateriaal

Uit de boorstaten [ref. 3] valt af te leiden dat het zand in de dijk kern matig siltig, en zwak tot matig humeus is. Daarom is het aannemelijk dat in het zand in dijk kern enige cohesie heerst. Voor het zand in de dijk kern is een cohesie toegepast van 0,1 kPa. In de berekeningen van Fugro is voor het dieper gelegen zand (onder eventuele klei- of veenlagen) ook gekozen voor zanddijkmateriaal. Dit is vervangen door 'zandondergrond' uit tabel 3 van de NvU [ref. 2].

2. Invloed van graszoden

Als tweede stap is een laag zode toegevoegd van 20 cm. Materiaal: zand dijk met cohesie van 4 kPa. Deze optimalisatie is gebaseerd op basis van 'expert judgement'. Het is aannemelijk dat de wortels van de grasbekleding extra sterkte geven aan het dijksmateriaal. De zode is geplaatst op de kruin en op het binnen- of buitentalud, boven het niveau van het polderpeil (STBI) of streefpeil van de boezem (STBU). Er is aangenomen dat het gras niet onder water groeit.

3. Aanpassing aan de bodemopbouw

De bodemopbouw is aangepast na een nieuwe analyse van de sonderingen en boringen. In de oorspronkelijke sommen is de bodemopbouw erg conservatief geschematiseerd. Hier ligt nog ruimte voor enkele aanpassingen die gunstige invloed hebben op de stabiliteit.

4. Verkeersbelasting

De verkeersbelasting is verplaatst van de buitenkruin naar het midden van de kruin.

5. Verflauwen buitentalud en/of binnentalud

Het buitentalud is verflauwd van 1:1,5 naar 1:2, het binnentalud is verflauwd naar 1:3, volgens ontwerptekening [ref. 5].

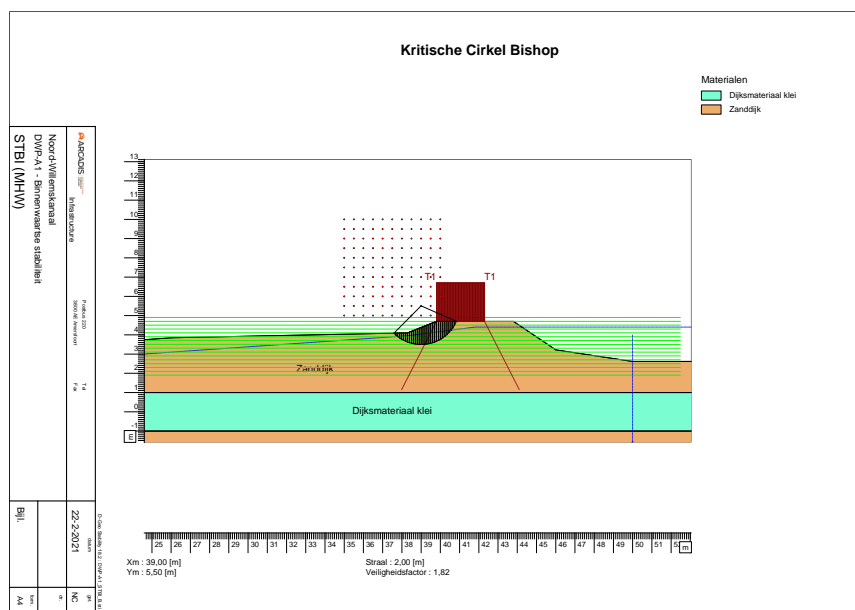
In de volgende paragraaf staan de berekeningsresultaten van alle doorsnedes. Voor elke doorsnede is aangegeven welke optimalisatiestappen zijn toegepast.

Uitwerking geotechnisch ontwerp

STBI

Locatie A

De doorsnede van locatie A voldoet. In de berekening zijn de uitgangspunten aangepast zoals omschreven in de eerdere paragrafen. De stabiliteitsfactoren van het ontwerp voor STBI zijn 1,82(B) en 3,45(UV). Hiermee voldoen beide stabiliteitsfactoren aan de vereiste stabiliteitsfactoren van 0,99(B) en 0,94(UV).



Figuur 3: Berekening STBI D-Geo Stability DWP A (B)

Locatie B

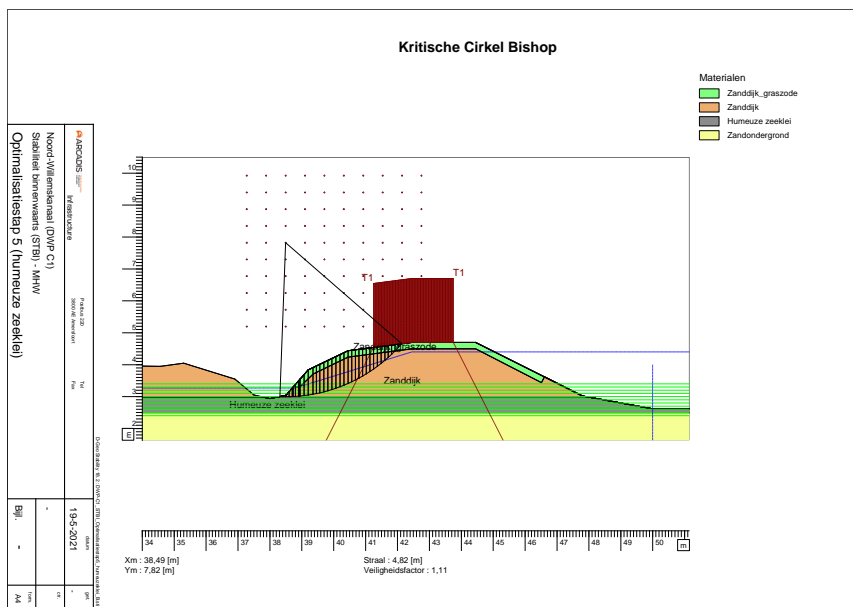
Aan de binnendijkse zijde bij locatie B is er geen sprake van een binnentalud. Het achterland ligt hoger dan de kruinhoogte van het dijklichaam. Hierdoor is er geen sprake van binnenwaartse instabiliteit waardoor er geen berekeningen aan STBI zijn gedaan voor deze locatie.

Locatie C

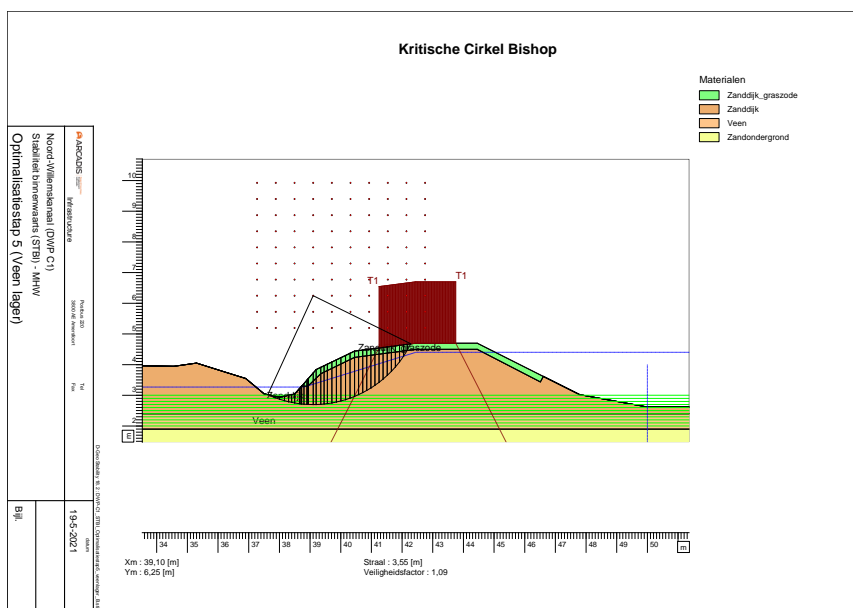
Voor dwarsprofiel C zijn de uitgangspunten aangepast. Echter voldoet de stabiliteitsfactor van het ontwerp niet zonder een optimalisatie. Hierdoor is het ontwerp geoptimaliseerd tot optimalisatiestap 4. Voor de optimalisatie van het ontwerp zijn de twee sonderingen, bijbehorend bij vak C, opnieuw beoordeeld: DKMP206 en DKMP208 [ref. 3]. Hieruit zijn de twee variaties in bodemopbouw beschouwd:

- a. De veenlaag in de bestaande som vervangen voor een laag humeuze klei (zie tabel 2 uit NvU [ref. 2]).
- b. De veenlaag verdiepen naar NAP +2,4 m, volgens de sondering waar de veenlaag aanwezig is. In het voorgaand ontwerp lag deze veenlaag op NAP +3,0 m.

Voor beide optimalisaties zijn aparte berekeningen gemaakt. De stabiliteitsfactoren van bodemopbouw a zijn 1,11(B) en 1,10(UV). De stabiliteitsfactoren van bodemopbouw b zijn 1,09(B) en 0,94(UV). Beide aanpassingen aan de bodemopbouw voldoen aan de vereiste stabiliteitsfactoren van 0,99(B) en 0,94(UV).



Figuur 4: Berekening STBI D-Geo Stability DWP C – bodemopbouw a: humeuze klei in plaats van veen (B)



Figuur 5: Berekening STBI D-Geo Stability DWP C optimalisatiestap 3 – bodemopbouw b: het veen ligt dieper (B)

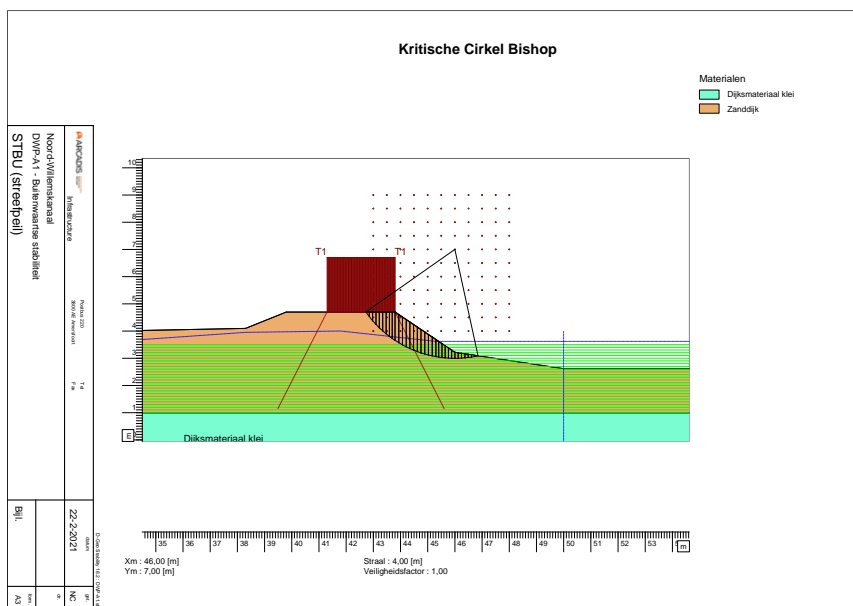
Locatie D

Aan de binnendijkse zijde bij locatie D is er zeer weinig verval tussen de kruin en het achterland. Hierdoor is er als het ware geen sprake van een binnentalud. Er zal geen binnenwaartse instabiliteit optreden waardoor er geen berekeningen benodigd zijn voor deze locatie

STBU

Locatie A

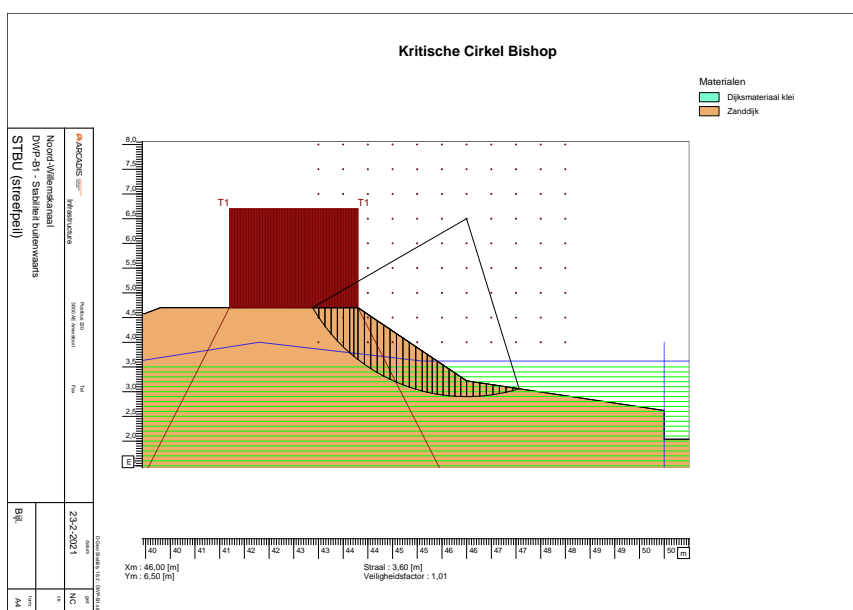
De doorsnede van locatie A voldoet na aanpassing van de uitgangspunten op stabiliteit. Er zijn geen optimalisaties nodig. De stabiliteitsfactoren van het ontwerp zijn 1,00(B) en 0,99(UV), hiermee voldoet het ontwerp aan de vereiste stabiliteitsfactoren van 0,99(B) en 0,94(UV).



Figuur 6: Berekening STBU D-Geo Stability DWP A (B)

Locatie B

De doorsnede van locatie B voldoet na aanpassing van de uitgangspunten op stabiliteit. Er zijn geen optimalisaties nodig. De stabiliteitsfactoren van het ontwerp zijn 1,01(B) en 1,00(UV), hiermee voldoet het ontwerp aan de vereiste stabiliteitsfactor van 0,99(B) en 0,94(UV).



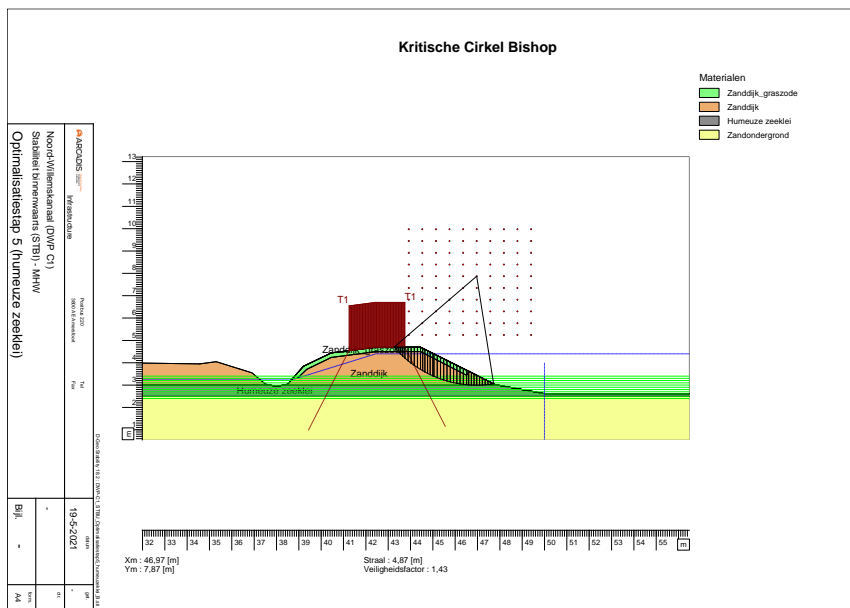
Figuur 7: Berekening STBU D-Geo Stability DWP B (B)

Locatie C

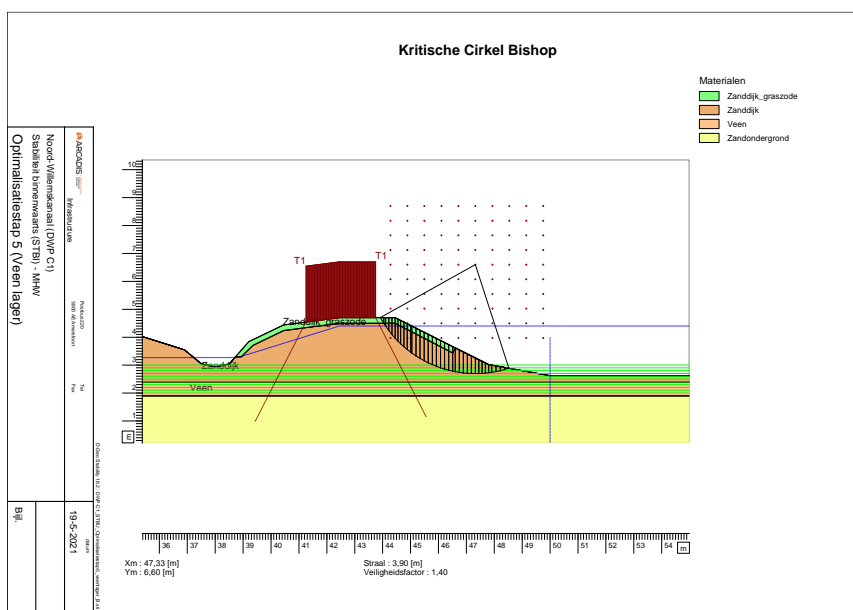
Voor dwarsprofiel C zijn de uitgangspunten aangepast. Echter voldoet de stabiliteitsfactor van het ontwerp niet zonder een optimalisatie de vereiste stabiliteitsfactor (0,86). Hierdoor is het ontwerp geoptimaliseerd tot optimalisatiestap 4. Voor de optimalisatie van het ontwerp zijn de twee sonderingen, bijbehorend bij vak C, opnieuw beoordeeld: DKMP206 en DKMP208 [ref. 3]. Hieruit zijn de twee variaties in bodemopbouw beschouwd:

- De veenlaag in de bestaande som vervangen voor een laag humeuze klei (zie tabel 2 uit NvU [ref. 2]).
- De veenlaag verdiepen naar NAP +2,4 m, volgens de sondering waar de veenlaag aanwezig is. In het voorgaand ontwerp lag deze veenlaag op NAP +3,0 m.

Voor beide optimalisaties zijn aparte berekeningen gemaakt. De stabiliteitsfactoren van bodemopbouw a zijn 1,43(B) en 1,61(UV). De stabiliteitsfactoren voor bodemopbouw b zijn 1,40(B) en 1,41(UV). Beide optimalisaties voldoen aan de vereiste stabiliteitsfactoren van 0,99(B) en 0,94(UV).



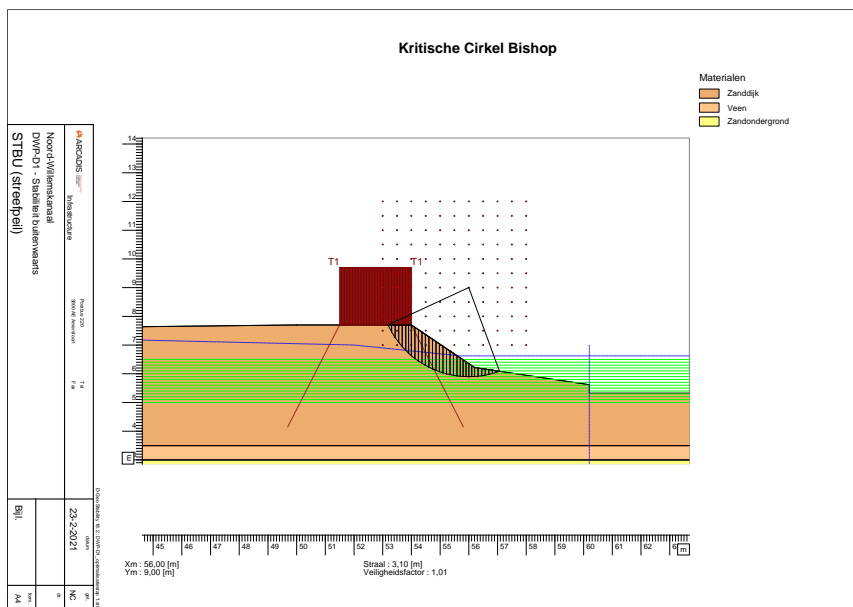
Figuur 8: Berekening STBU D-Geo Stability DWP C – bodemopbouw a: humeuze klei in plaats van veen (B)



Figuur 9: Berekening STBU D-Geo Stability DWP C optimalisatiestap 3 – bodemopbouw b: het veen ligt dieper (B)

Locatie D

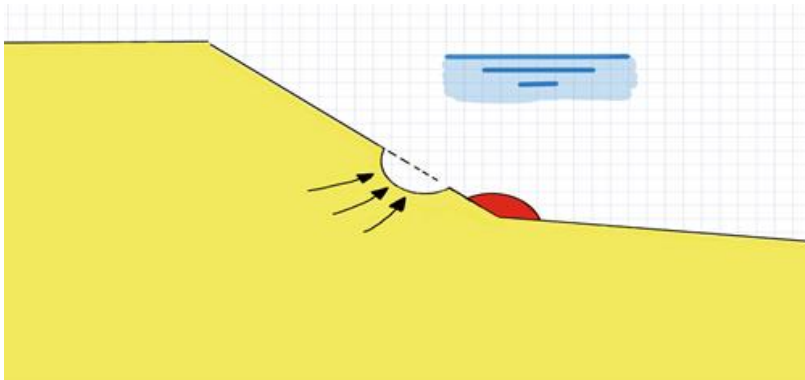
De doorsnede van locatie D voldoet niet op stabiliteit na aanpassing van de uitgangspunten op stabiliteit. Na het toepassen van optimalisatiestap 1 (cohesie toevoegen aan het dijksmateriaal) voldoet de doorsnede wel op stabiliteit. De stabiliteitsfactoren van het ontwerp zijn 1,01(B) en 1,02(UV), hiermee voldoet het ontwerp aan de vereiste stabiliteitsfactoren van 0,99(B) en 0,94(UV).



Figuur 10: Berekening STBU D-Geo Stability DWP D (B)

Microstabiliteit (STMI) – Locatie C

Micro-instabiliteit betreft het verlies van stabiliteit van grondlagen met zeer beperkte dikte aan het oppervlak van het binnentalud onder invloed van grondwater dat door het dijklichaam stroomt, of het verlies van stabiliteit door “losse” uitstroom van zand onder invloed van grondwater in een volledig zandig dijklichaam. De dreiging van micro-instabiliteit wordt veroorzaakt door een hoge freatische lijn in het dijklichaam. Bij micro-instabiliteit van het binnentalud spoelt sediment ter plaatse van het binnentalud of de teen uit. De micro-instabiliteit kan een 2^e orde effect veroorzaken waardoor de macrostabiliteit van het dijklichaam niet gewaarborgd kan worden.



Figuur 11: Schets faalmechanisme microstabiliteit (STMI)



Figuur 12: Micro- instabiliteit van een talud

Het dijklichaam op locatie C bestaat uit zand en het talud ter plaatse van de sloot is zeer steil (< 1:1) waardoor er kans op micro-instabiliteit ontstaat. Bij de andere locaties is er geen sprake van zo'n steil talud aan de binnenzijde van het dijklichaam.

Om micro-instabiliteit te voorkomen, wordt één van de volgende maatregelen voorgeschreven:

- Het plaatsen van een drainage constructie ter plaatse van de binnenteen.
 - Door het plaatsen van drainage wordt de grondwaterstand in het dijklichaam verlaagd. Hierdoor is er geen uitstromen van sediment ter plaatse van de sloot/binnenteen.
- Het plaatsen van een palenrij/beschoeiing ter plaatse van de binnenteen/sloot.
 - Door het plaatsen van een palenrij/beschoeiing wordt de uitstroom van sediment tegengehouden. Er is hier geen sprake van het verlagen van de grondwaterstand in het dijklichaam.

Om micro-instabiliteit te voorkomen is derhalve gekozen voor het toepassen van een drainage ter plaatse van de binnenteen van de kade.

Conclusie

Binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)

Bij locatie B en D is er geen sprake van binnenwaartse instabiliteit. Er is bij deze locaties geen sprake van een binnentalud, het achterland ligt boven het maatgevend boezempeil. Voor locatie A zijn naast het veranderen van de uitgangspunten geen optimalisaties vereist.

Voor locatie C zijn vier optimalisaties uitgevoerd. Bij de optimalisaties voldoet de stabiliteitsfactor aan de vereiste stabiliteitsfactor. Indien de bodemopbouw wordt aangepast kan het ontwerp worden gehandhaafd.

In Bijlage A staan alle maatgevende glijvlakken voor STBI voor Bishop en Uplift Van weergegeven.

Tabel 2: Resultaten stabiliteit binnenwaarts (STBI)

DWP	Vereiste S.F. (B)	Vereiste S.F. (UV)	S.F. (B)	S.F. (UV)	Optimalisatiestap binnentalud	Oordeel
A	0,99	0,94	1,82	3,45	Niet nodig	Voldoet
B	Niet van toepassing, want het achterland ligt hoger dan het maatgevend boezempeil.					
C (3a)	0,99	0,94	1,11	1,10	<ul style="list-style-type: none"> Cohesie van 0,1 toegevoegd aan zanddijk. Graszode op binnentalud en kruin. Aanpassing bodemopbouw, variant a (klei in plaats van veen). Verkeersbelasting verplaatst. Palenrij/beschoeiing binnenteen of drainage binnenteen, zie conclusie microstabiliteit (STMI). 	Voldoet
C (3b)	0,99	0,94	1,09	0,94	<ul style="list-style-type: none"> Cohesie van 0,1 toegevoegd aan zanddijk. Graszode op binnentalud en kruin. Aanpassing bodemopbouw, variant b (het veen ligt dieper). Verkeersbelasting verplaatst. Palenrij/beschoeiing binnenteen of drainage binnenteen, zie conclusie microstabiliteit (STMI). 	Voldoet
D	Niet van toepassing, want het achterland ligt hoger dan het maatgevend boezempeil.					

Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)

Locatie A en B voldoen met eenvoudige aanpassingen op buitenwaartse stabiliteit. Voor locatie D is een optimalisatie gedaan aan de sterkteparameters van het dijksmateriaal. Het bestaande ontwerp, met een buitentalud van 1:1,5 kan worden gehandhaafd voor doorsnede A, B en D.

Voor locatie C zijn vier optimalisaties uitgevoerd. Bij de optimalisaties voldoet de stabiliteitsfactor aan de vereiste stabiliteitsfactor. Indien de bodemopbouw wordt aangepast kan het ontwerp worden gehandhaafd.

In Bijlage B staan alle maatgevende glijvlakken voor STBU voor Bishop en Uplift Van weergegeven.

Tabel 3: Resultaten stabiliteit buitenwaarts (STBU)

DWP	Vereiste S.F. (B)	Vereiste S.F. (UV)	S.F. (B)	S.F. (UV)	Optimalisatiestap buitentalud	Oordeel
A	0,99	0,94	1,00	0,99	Niet nodig	Voldoet
B	0,99	0,94	1,01	1,00	Niet nodig	Voldoet
C (3a)	0,99	0,94	1,43	1,61	<ul style="list-style-type: none"> • Cohesie van 0,1 toegevoegd aan zanddijk. • Graszode op buitentalud en kruin. • Aanpassing bodemopbouw, variant a (klei in plaats van veen). • Verkeersbelasting verplaatst. 	Voldoet
C (3b)	0,99	0,94	1,40	1,41	<ul style="list-style-type: none"> • Cohesie van 0,1 toegevoegd aan zanddijk. • Graszode op buitentalud en kruin. • Aanpassing bodemopbouw, variant b (het veen ligt dieper). • Verkeersbelasting verplaatst. 	Voldoet
D	0,99	0,94	1,01	1,02	<ul style="list-style-type: none"> • Cohesie toevoegen aan dijksmateriaal 	Voldoet

Microstabiliteit locatie C (STMI)

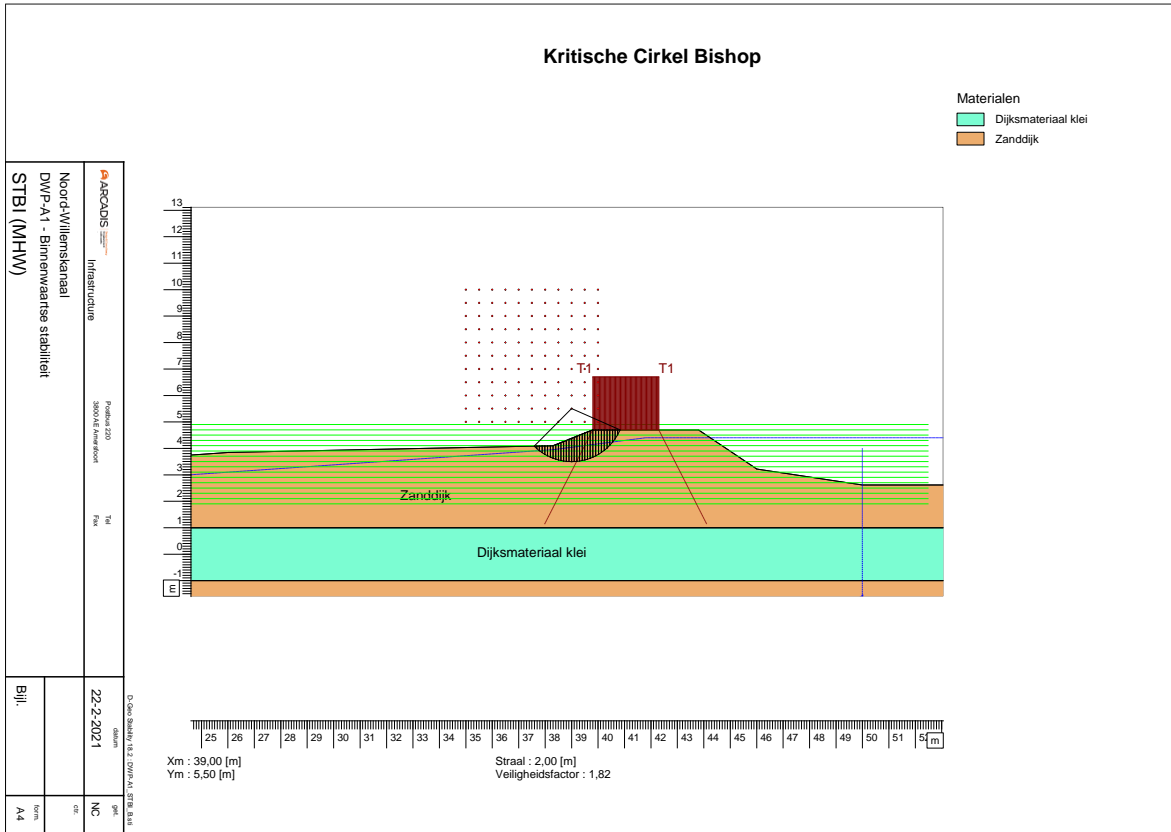
Door het zeer steile binnentalud ter plaatse van de sloot (< 1:1) en het zandige dijklichaam is er een grote kans op micro-instabiliteit. De micro-instabiliteit kan een 2^e orde effect veroorzaken en uiteindelijk zorgen voor macro-instabiliteit. Om micro-instabiliteit te voorkomen, wordt een drainage ter plaatse van de binnenteen gerealiseerd en voldoet de kade op het faalmechanisme microstabiliteit.

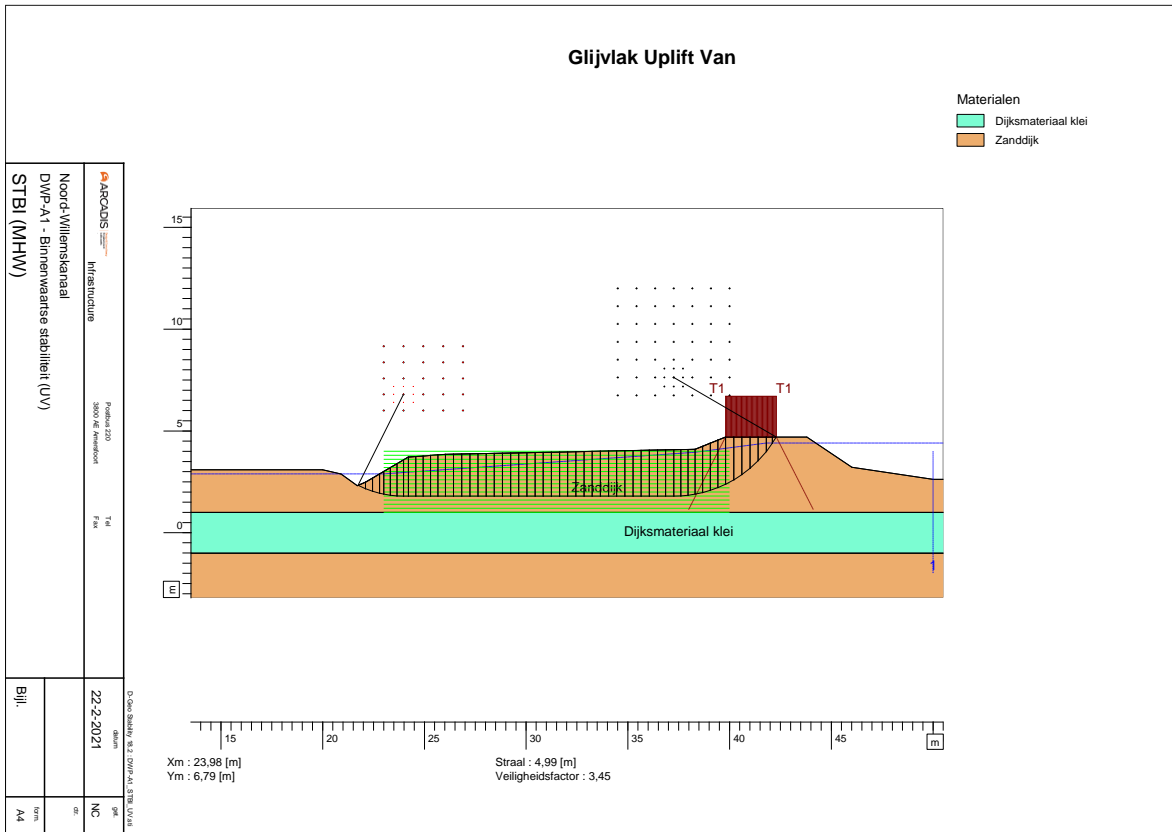
Referenties

1. 'Geotechnische ondersteuning werkzaamheden Dijk- en oeverwerken voor Hunze en Aa's', Fugro, 5 februari 2021, referentie: 1020-174276 R01;
2. 'Nota van uitgangspunten, Technische Ontwerputgangspunten Verbeterprogramma Dijk- En Oeverwerken', Arcadis, 23 oktober 2020, referentie: D10010519;
3. 'Geotechnisch onderzoek Noord-Willemskanaal te De Punt', Wiertsema & Partners, 10 september 2020, referentie: VN-73819-5
4. 'Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen - module B', Stowa, referentie: STOWA 2015-15.
5. 'Dwarsprofiel locatie A-D_aangepast.pdf', Arcadis, 16 november 2020,

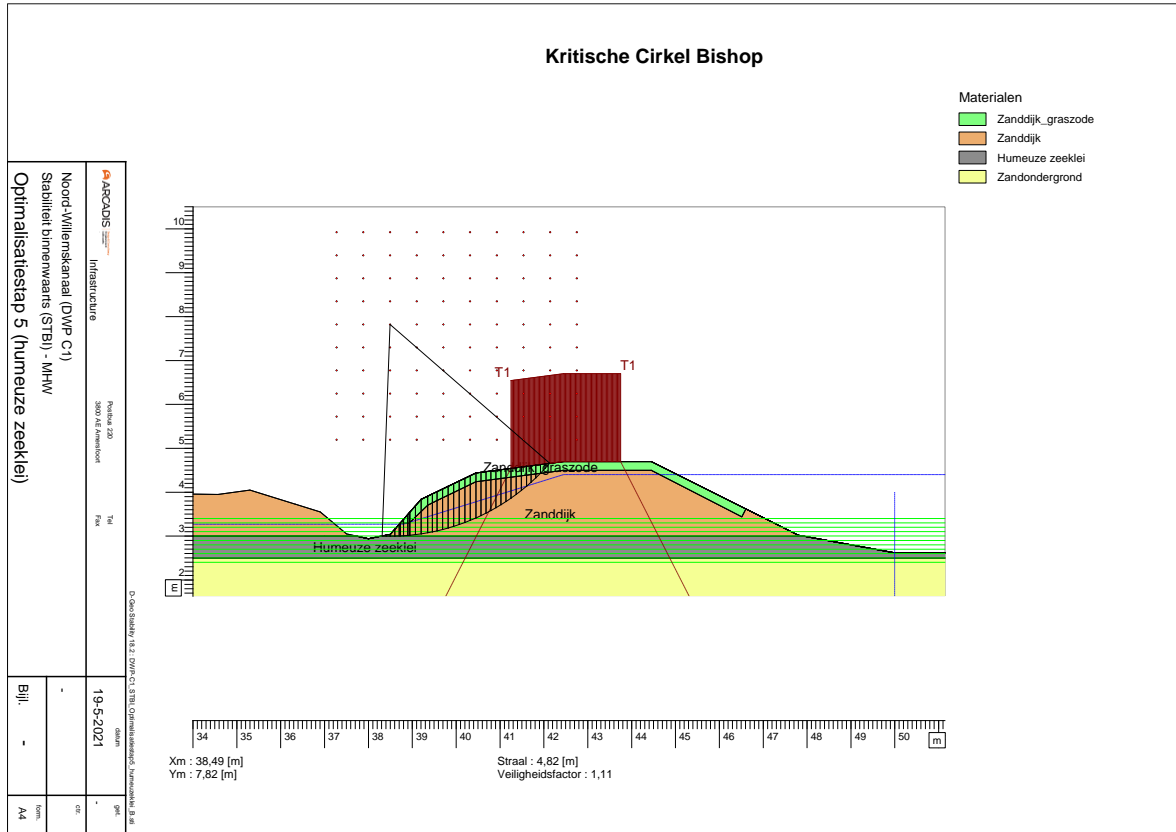
Bijlage A – Resultaten STBI D-geo stability

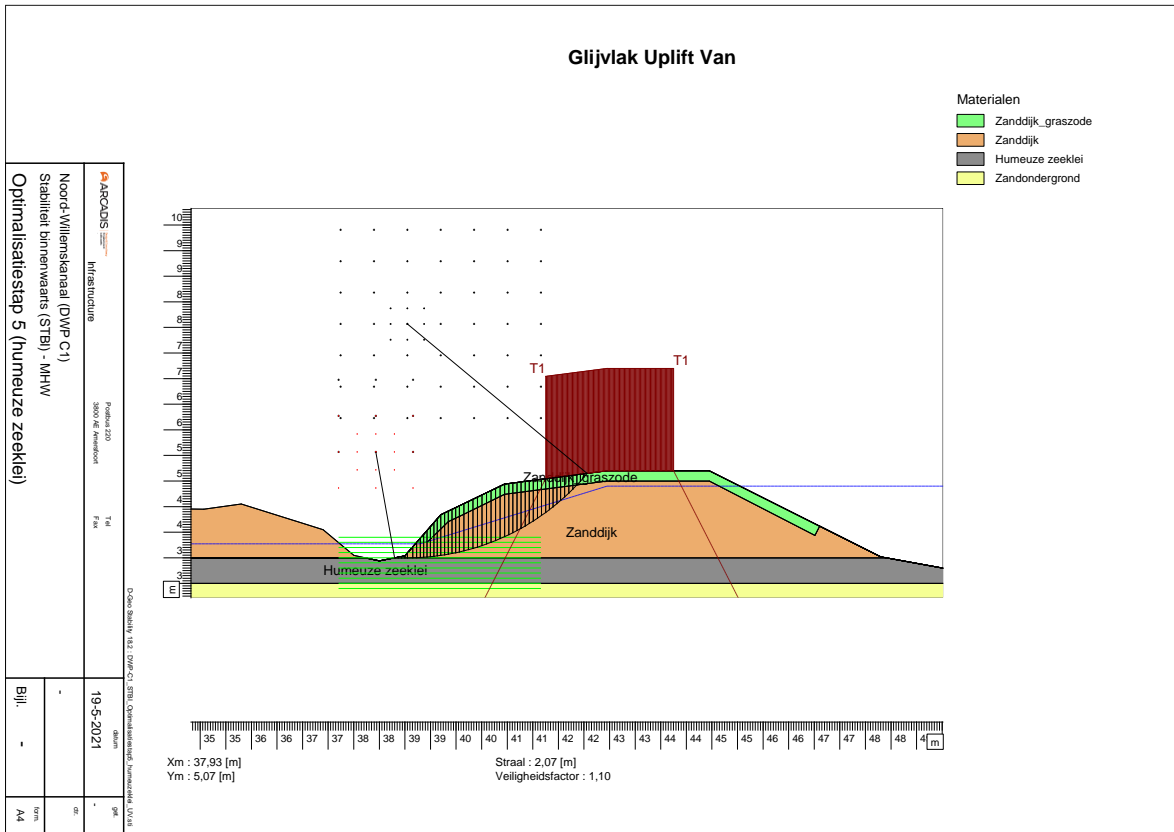
Locatie A



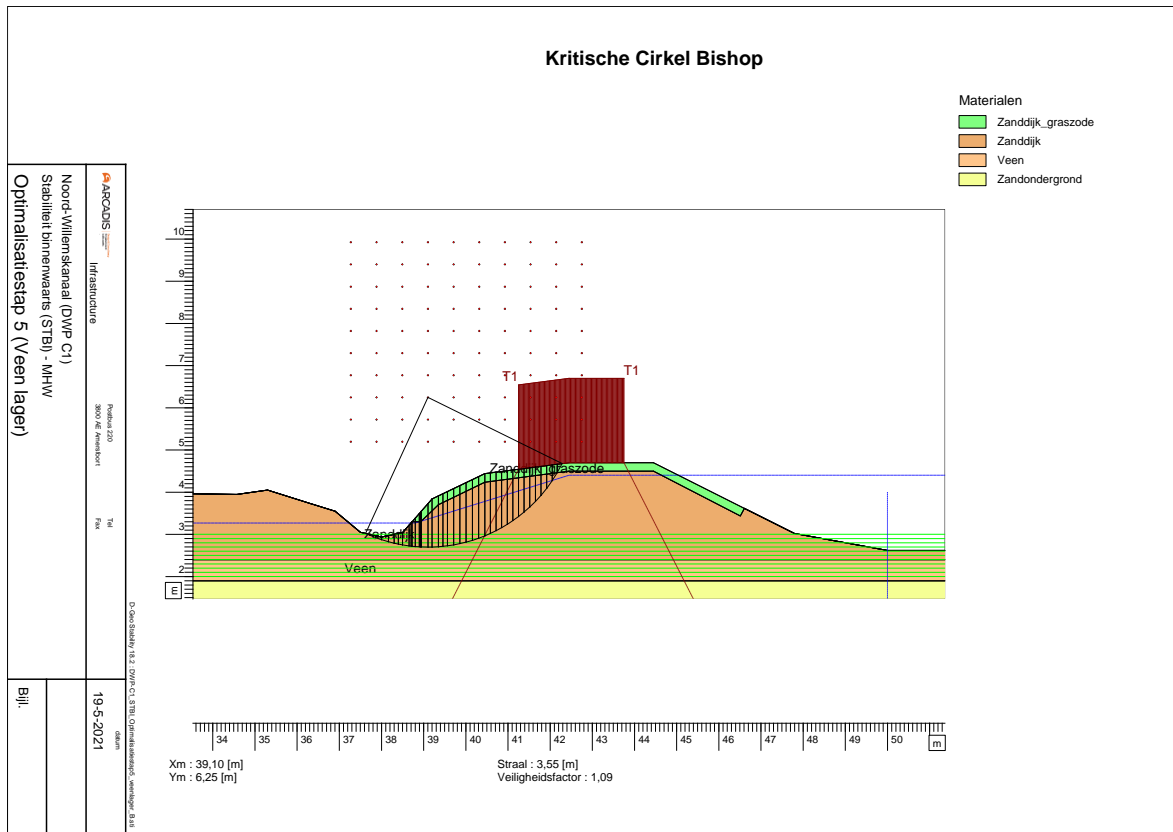


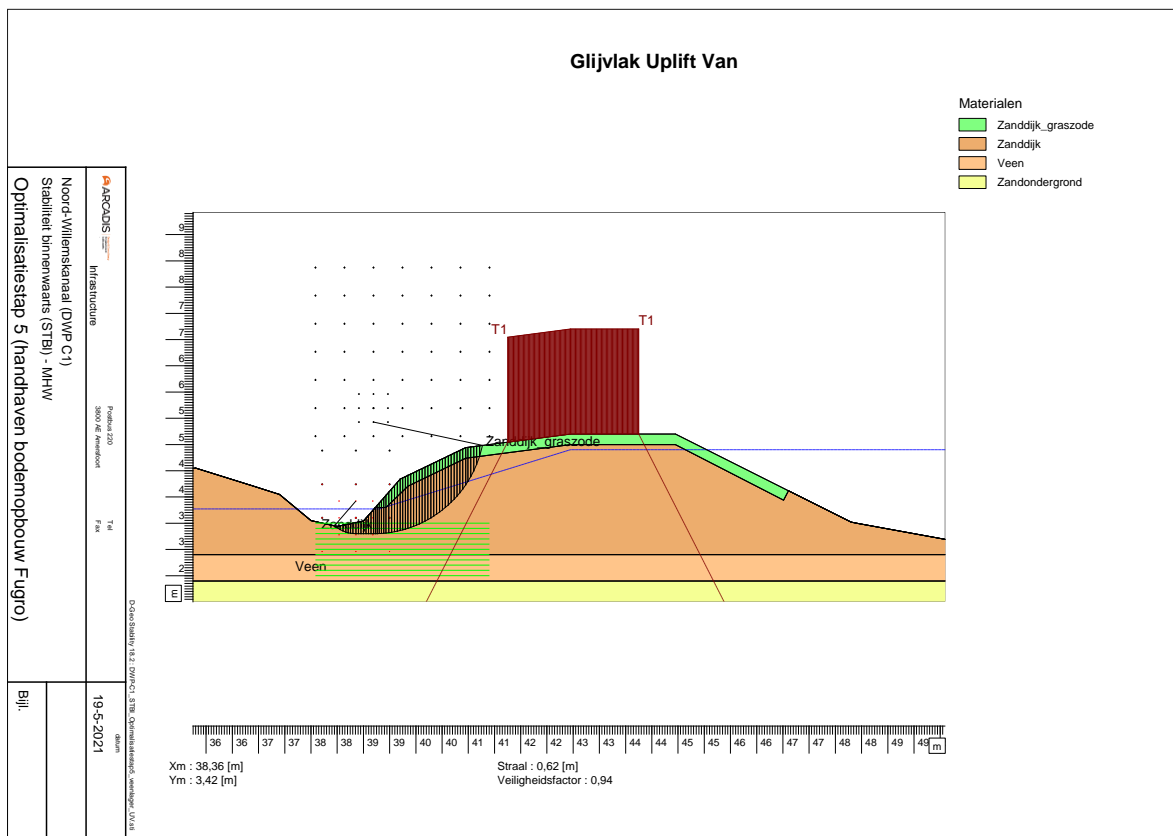
Locatie C - optie A





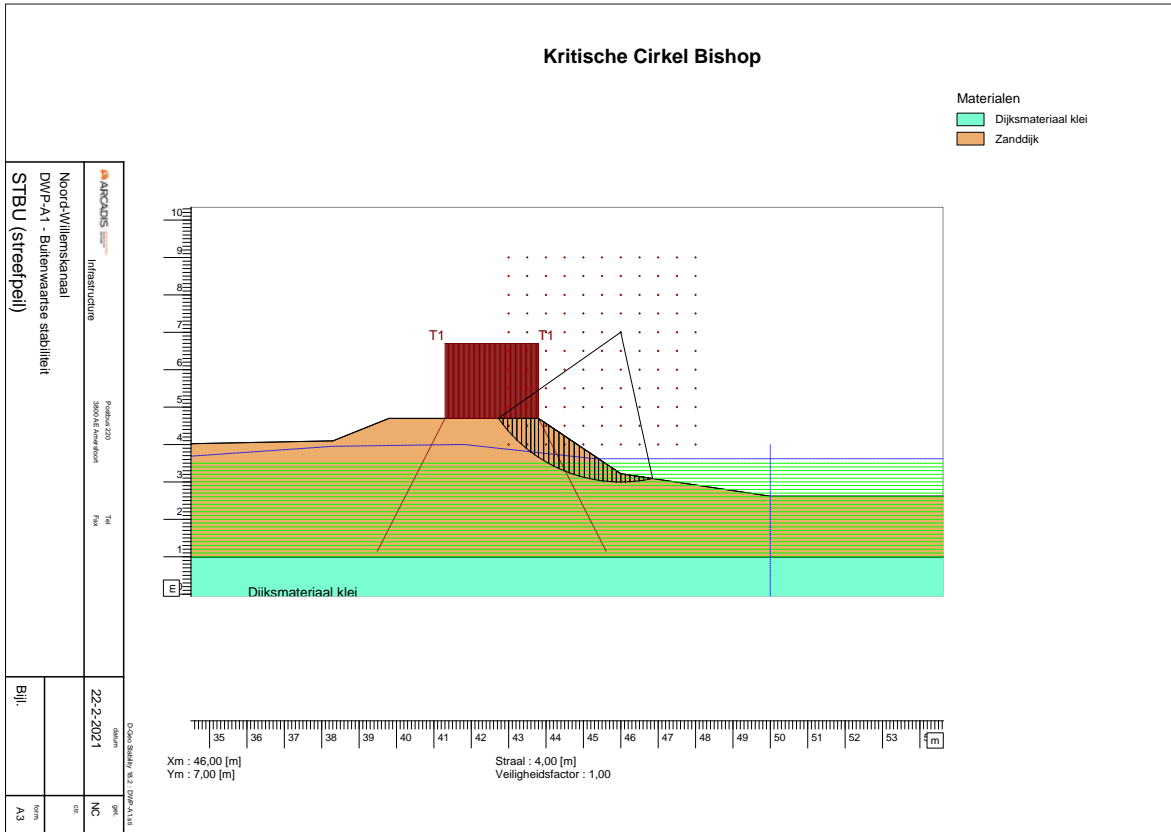
Locatie C - optie B

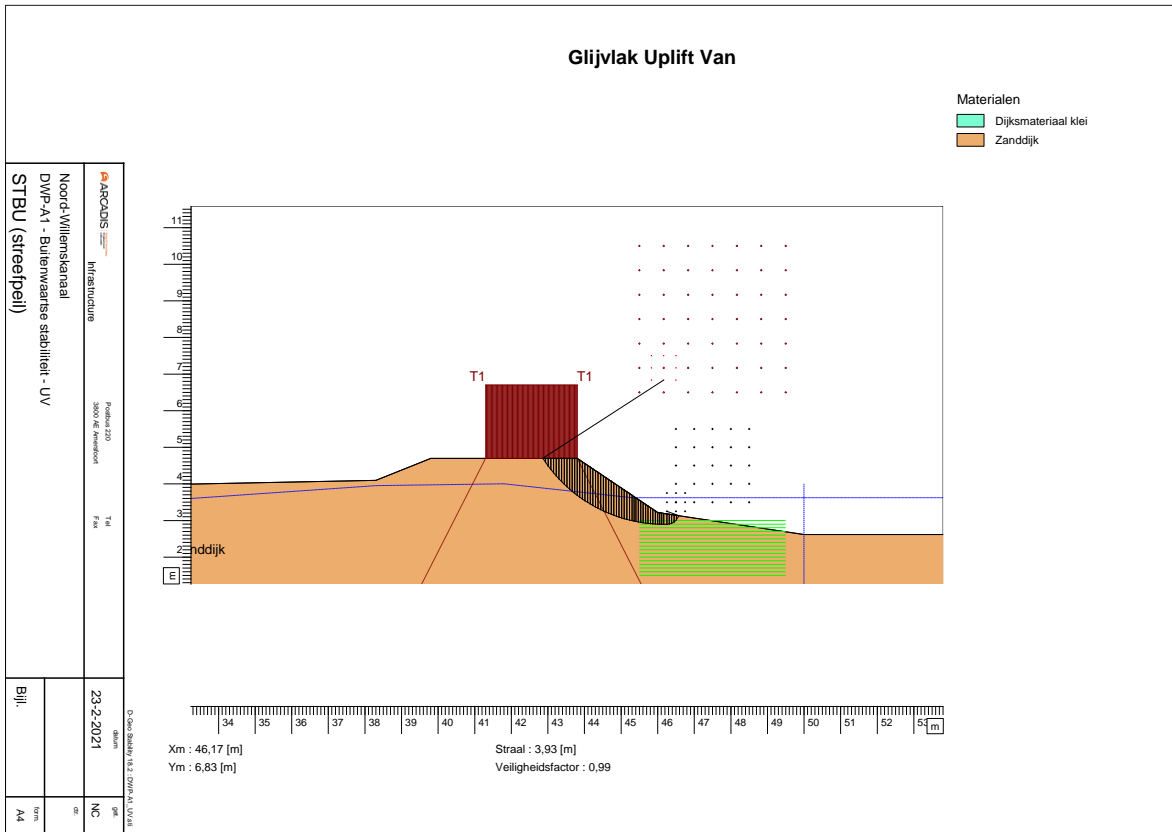




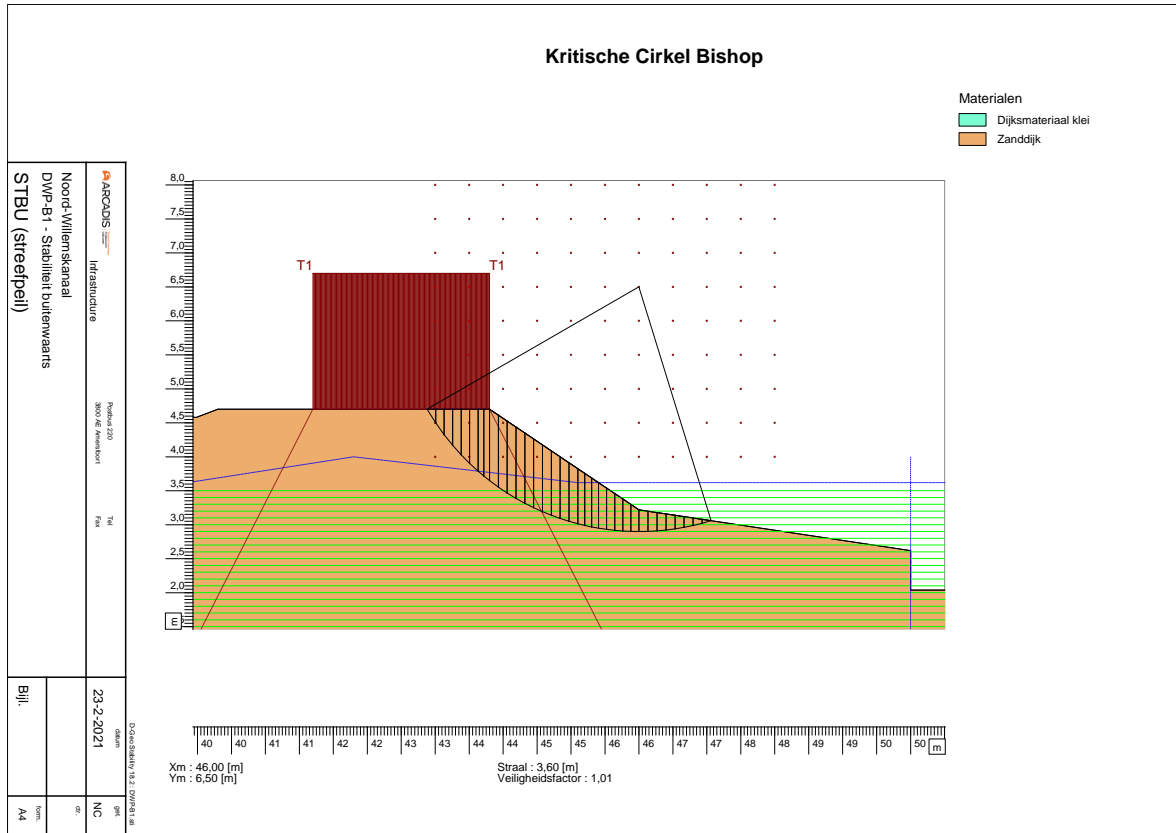
Bijlage B – Resultaten STBU D-geo stability

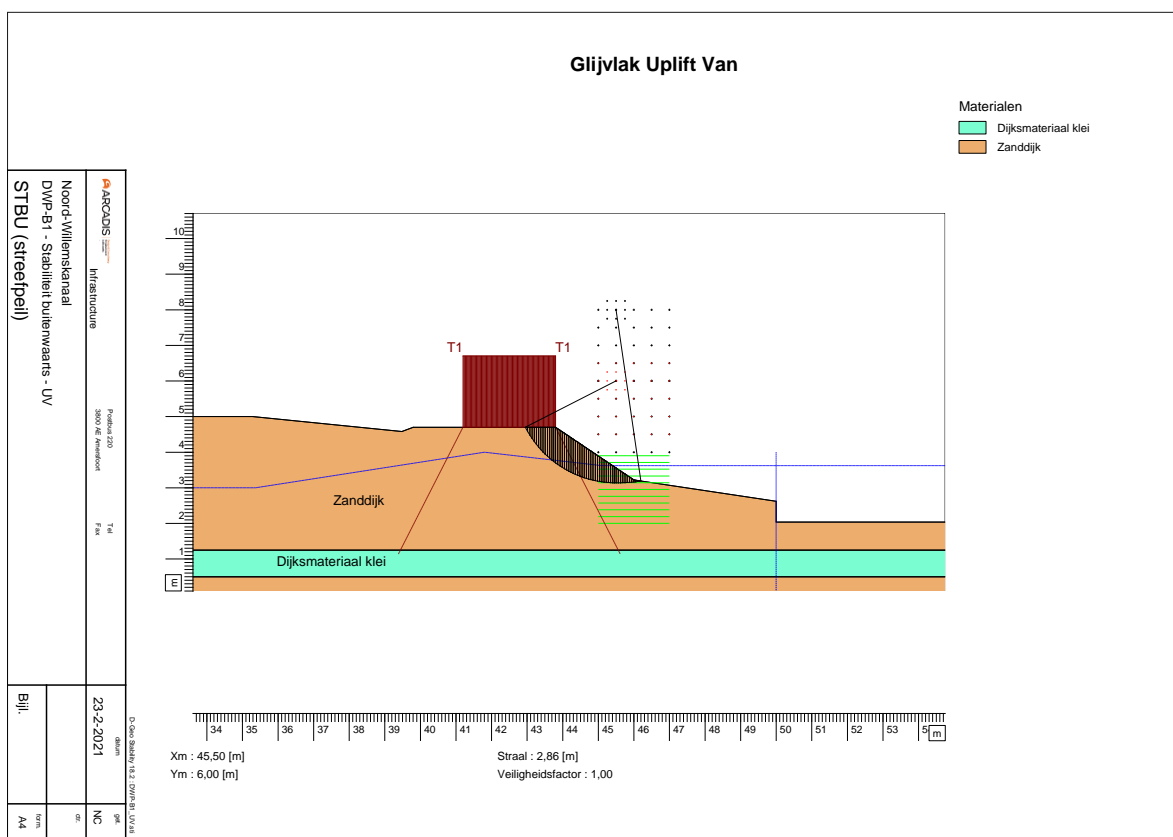
Locatie A



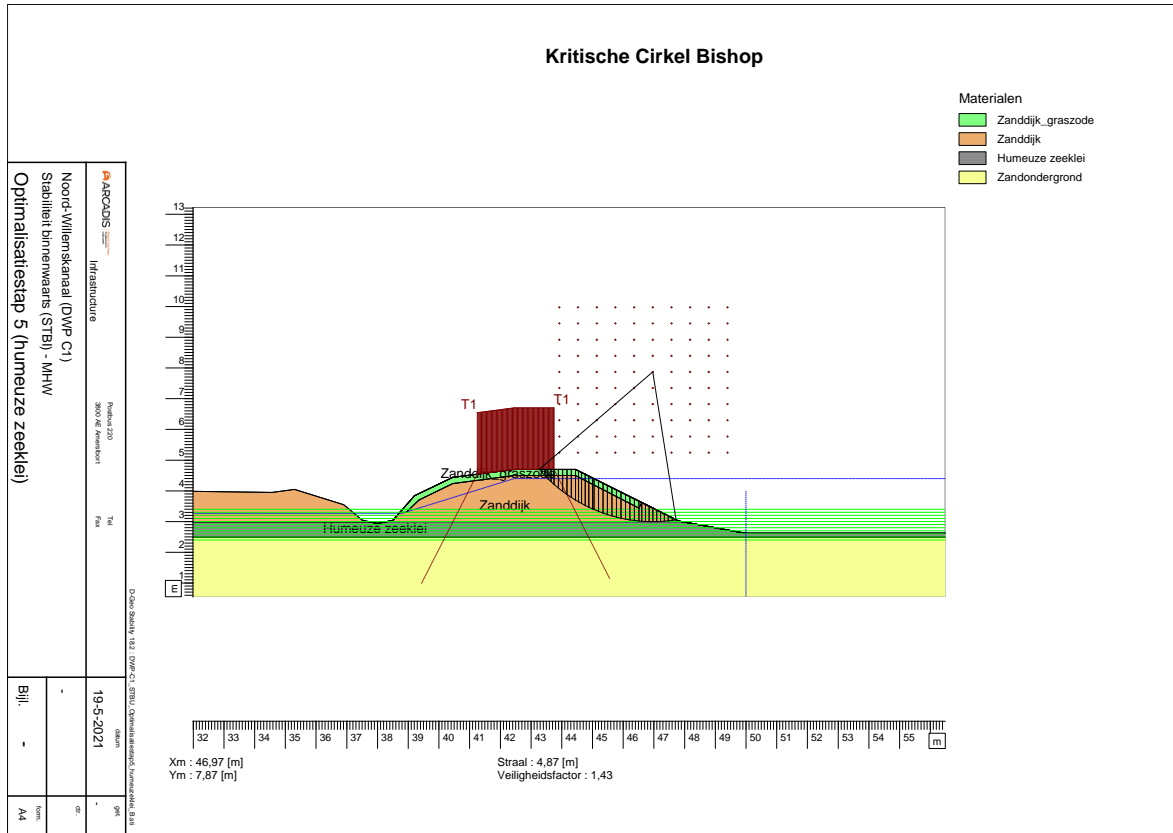


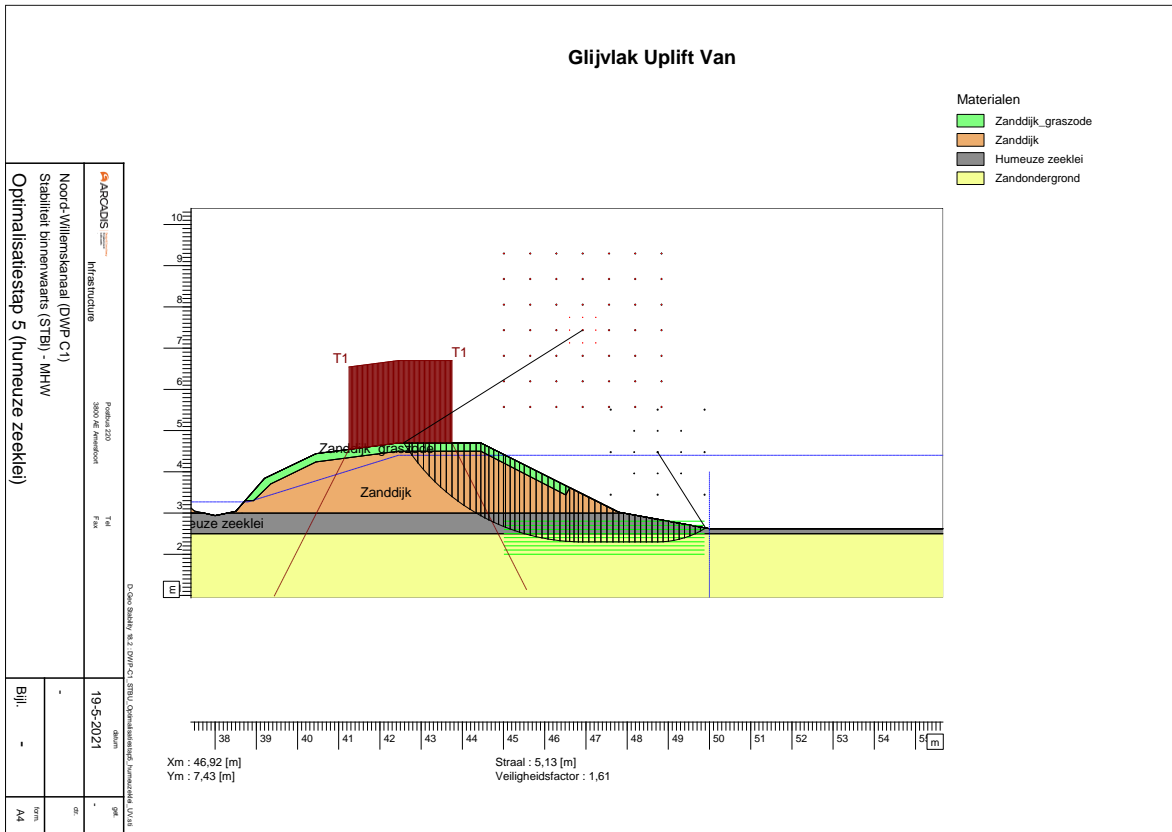
Locatie B



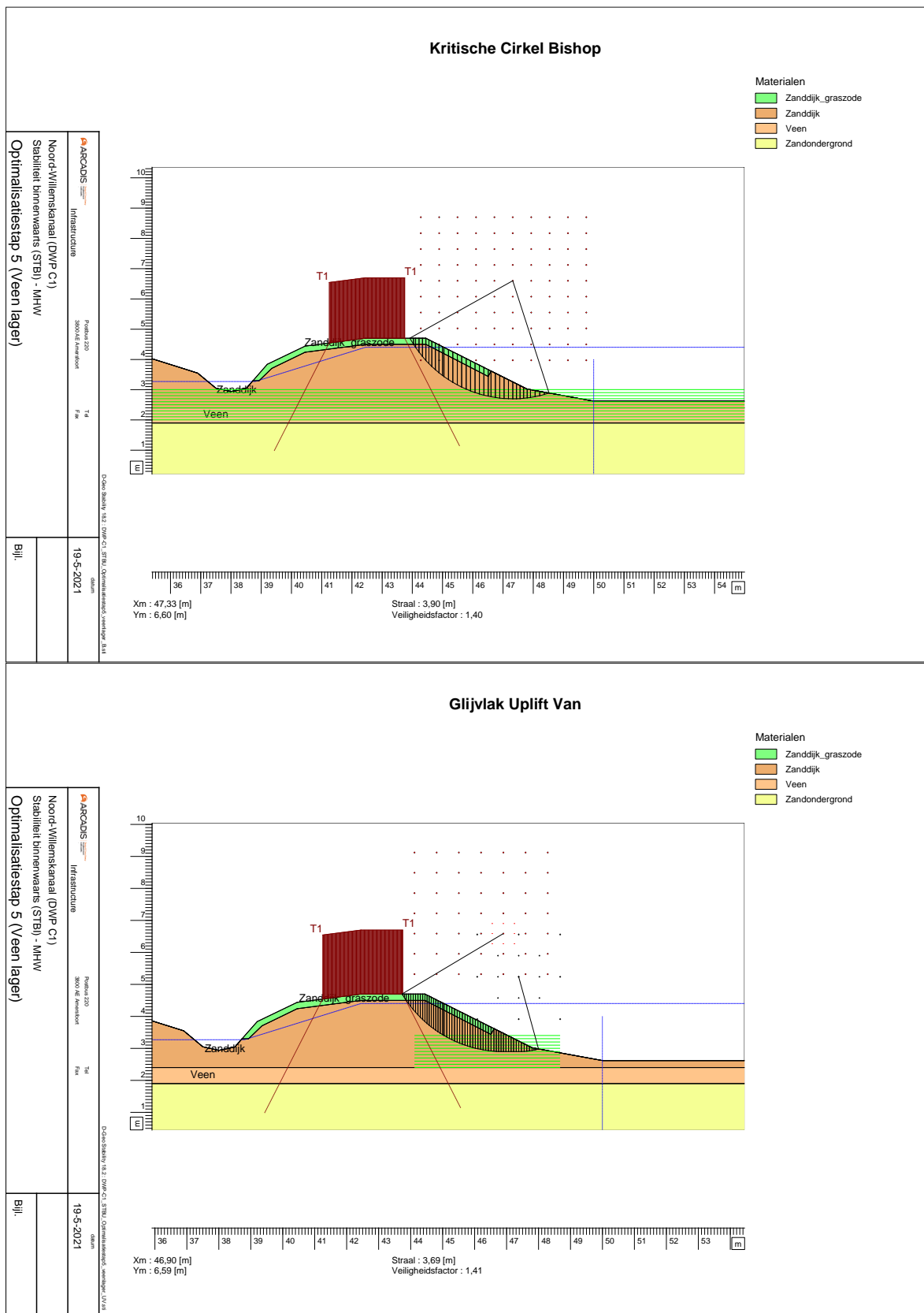


Locatie C - optie A





Locatie C - optie B



Locatie D

