

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Mobility & Infrastructure

Aan: Waterschap Limburg
Van: Shaniel Chotkan
Datum: 12 maart 2024
Kopie: [Click to enter "CopyTo"](#)
Ons kenmerk: 20240705_BJ1000_W3420-3.6_Kasteel macrostabiliteit_C01
Classificatie: -
Gecontroleerd door: Albert Wiggers

Onderwerp: **Gebiedsontwikkeling Well: Macrostabiliteit Kasteel**

1 Inleiding

Deze notitie maakt onderdeel uit van het voorontwerp Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, en is een bijlage bij het technisch ontwerp waterkering kasteel (VO) **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**[1].

In deze notitie wordt de binnenwaartse en buitenwaartse macrostabiliteit (STBI en STBU) van de taluds van de omwalling kasteel getoetst volgens de vigerende normen en conform de Technische Uitgangspuntennotitie (TUN) [2]. Voor de meer algemene gegevens achter deze maatwerklocatie wordt verwezen naar het hoofdrapport Technisch Ontwerp [1].

2 Uitgangspunten en beschouwde doorsneden

Voor de uitgangspunten wordt verwezen naar de Technische Uitgangspuntennotitie (TUN) [2]. Ter ondersteuning zijn enkele locatiespecifieke uitgangspunten herhaald en specifiekere toegevoegd.

- Een ontwerpwaterstand (WBN) van 15,7 m + NAP. De bijbehorende freatische lijn is nader toegelicht in paragraaf 0.
- Een kruinhoogte (HBN) van 16,19 m + NAP.
- Een peil in de binnengracht gelijk aan 13,5 m + NAP.
- De maaiveldophoging wordt gerealiseerd met een talud 1:3.
- Vanwege het zandige karakter van de ondergrond is in de STBU-situatie een freatische lijn gehanteerd zoals gebruikelijk bij zandige dijken.

Onderstaand zijn de gehanteerde grondsoorten en de relevante parameters herhaald.

Tabel 2-1: Gehanteerde gedraineerde grondsoorten en bijbehorende parameters.

Grondsoort	Gewicht droog [kN/m ³]	Gewicht nat [kN/m ³]	Cohesie [kPa]	Hoek van wrijving [°]
Zandig grind	18,5	20,5	0	31,5
Zand	17	19	0	28,3
Zandige klei	17,9	18,3	0	30,8
Dijkmateriaal	18,8	19,5	0	30,8

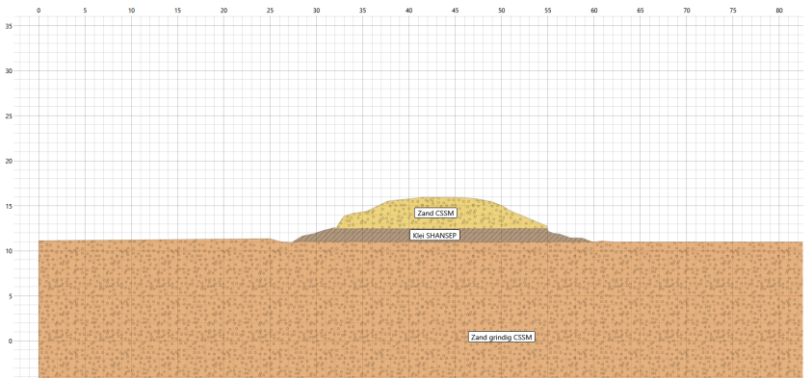
Tabel 2-2: Gehanteerde ongedraineerde grondsoorten en bijbehorende parameters.

Grondsoort	Gewicht droog [kN/m³]	Gewicht nat [kN/m³]	S-ratio [-]	m [-]
Klei	18,4	18,4	0,25	0,83

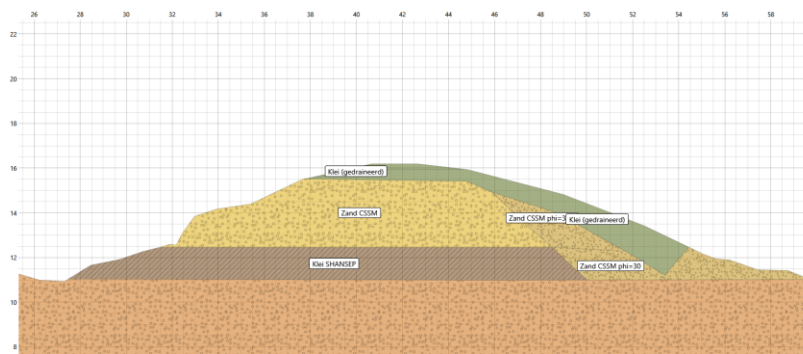
Voor de beschouwde doorsneden wordt verwezen naar [1]. Voor de stabiliteit is doorsnede 3 maatgevend. In Figuur 2-1 zijn de grondopbouw en geometrie van deze doorsnede in de huidige situatie getoond (D-Stability 2023.1). De locatie van deze doorsnede alsmede de grondopbouw zoals gegenereerd uit Leapfrog (2023.1) zijn gegeven in Bijlage 1. In Figuur 2-2 is de geometrie en grondopbouw van de ontwerpsituatie getoond.

Bij het ontwerp van het maaiveld (binnendijs) is rekening gehouden met de landschappelijke inpassing ervan, zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Bovendien is rekening gehouden met een ontgraving aan de binnenzijde. Deze ontgraving is ten behoeve van het gedeeltelijk uitgraven van de aanwezige kleilaag. Deze wordt aangevuld met (grof) zand zodat bij WBN de oplopende waterspanningen kunnen dissiperen via dit 'drainagekanaal' (zie figuur 2.2)

Met opmerkingen [DH1]: Als je begint over de doorsnede veronderstel je dat de lezer weet waar je het over hebt, maar dat is niet het geval.
Ik neem aan dat je een representatieve doorsnede hebt genomen, klopt dat? Maakt het uit waar die doorsnede zich bevindt, of niet? Licht dat even toe.



Figuur 2-1: Grondopbouw en geometrie (huidige situatie) van de maatgevende doorsnede zoals gemodelleerd in D-Stability.

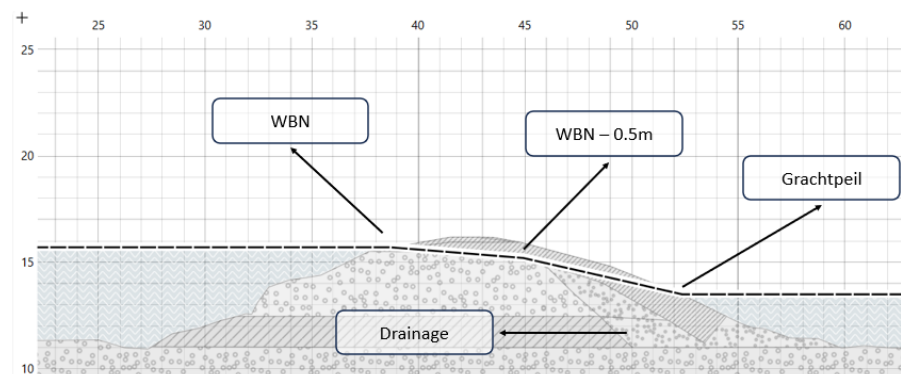


Figuur 2-2: Grondopbouw en geometrie (ontwerpsituatie) van de maatgevende doorsnede zoals gemodelleerd in D-Stability.

Freatische lijn

Vanwege de hoeveelheid klei in de doorsnede kunnen de waterspanningen in het grondlichaam oplopen. Om meer inzicht te krijgen in de freatische lijn bij WBN is een Plaxflow 2D berekening gemaakt, zie [4]. De daarin berekende stijghoogtes in het grondlichaam zijn in deze stabiliteitsberekeningen gehanteerd als waterspanningen.

Vanuit de berekeningen volgt dat de stijghoogte op ongeveer 6 m van het buitentalud is afgenomen met 0,5 m, zie Figuur 2-3. Bovendien is in de figuur de locatie van het 'drainagekanaal' (zie voorgaande paragraaf) gegeven.



Figuur 2-3: Gehanteerde waterspanningen bij WBN in de macrostabiliteitsberekeningen. De spanningen zijn berekend in Plaxflow 2D. Voor de herleiding daarvan wordt verwezen naar [4] (kleilaag op het buitentalud niet ingetekend).

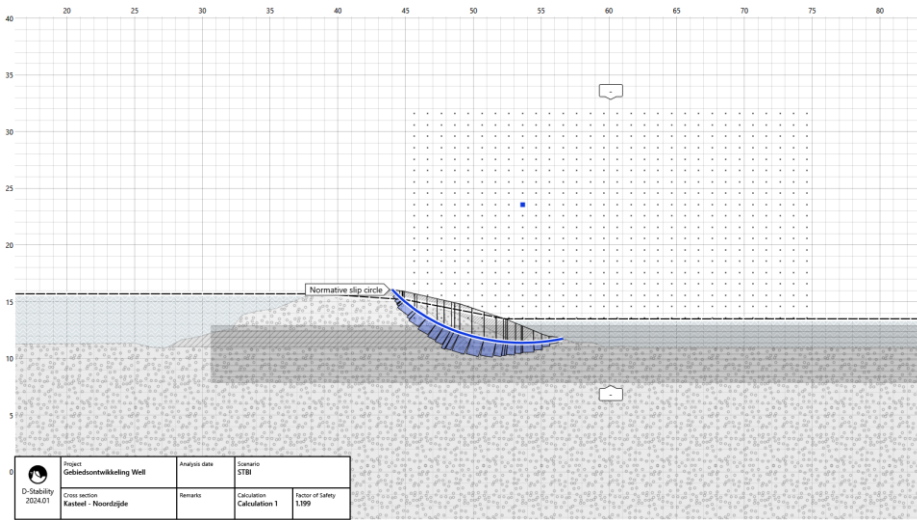
Met opmerkingen [DH2]: Ik zou hier een tussenkop van maken. Een hoofdstuk met halverwege 1 paragraaf oogt nogal raar.

3 Resultaten macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)

De macrostabiliteit van de maatgevende doorsnede is bepaald in het softwarepakket D-Stability (Deltares Systems). Omdat de configuratie van glijvlakken door de zanddijk sterk afhankelijk is van de ligging van de freatische lijn is naast de berekende ligging van de freatische lijn ook gekeken naar de invloed van variaties in de ligging van de freatische lijn op de macrostabiliteit binnenwaarts (STBI). Hierbij is het knikpunt in de freatische lijn ter plaatse van de binnenkruin (zie Figuur 2-3) gevarieerd (bij WBN). Onderstaand zijn de resultaten van deze gevoeligheidsanalyse gegeven.

Tabel 3-1: Resultaten gevoeligheidsanalyse waterspanningen.

Hoogte punt t.o.v. WBN [m]	Safety Factor	Eis	Oordeel
0,25	1,12	1,17	Voldoet niet
0,50 (berekend)	1,19	1,17	Voldoet
0,75	1,25	1,17	Voldoet



Figuur 3-1: Maatgevend glijvlak in het STBI belastinggeval.

4 Resultaten macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)

Het huidige buitentalud van de omwalling ligt gemiddeld op circa 1:2. Lokaal in het dwarsprofiel is het talud veelal steiler, in enkele gevallen steiler dan 1:1 (zie Figuur 2-3). Uit stabiliteitsberekeningen blijkt dat de macrostabiliteit van het buitentalud bij een profiel zelfs met lokaal steile taluds voldoet wanneer er geen waterstandsverschil is tussen de buitenwaterstand en de freatische lijn in de dijk onder het buitenbeloop aanwezig is. Bij een vallende buitenwaterstand kunnen deze steile taluds instabiel worden en treden lokale glijvlakken op. Verkennende berekeningen geven aan dat deze maatgevende glijvlakken bij een val na hoogwater lokaal zijn en niet insnijden in de kruin van de kering. Deze zogenaamde oevervallen zijn hier in het verleden ook opgetreden en zijn waarschijnlijk de reden voor de huidige steile oevers. Een lokaal mechanisme zoals een oeverval kan gezien worden als een initiële knoop in het faalpad. Zonder vervolgmecanismen (opvolgende knopen) zal dit niet leiden tot een overstroming. Mogelijke vervolgmecanismen zijn een grotere afschuiving die door de lokale afschuiving wordt getriggerd of erosie ter plaatse van de steile helling door langsstromend water of door golven. Gezien de breedte van de waterkering zal er na een oeverval nog voldoende restbreedte aanwezig zijn om overstroming bij de vallende buitenwaterstand te voorkomen. Een voorwaarde is wel dat het beheer zo wordt ingericht dat oevervallen tijdig worden opgemerkt en worden hersteld voordat het volgende hoogwater zich aandient. Zonder goed beheer zal de reststerkte ten aanzien van macrostabiliteit en erosie afnemen en wordt het overstromingsrisico mogelijk onbeheersbaar. De afweging hoe om te gaan met het risico op een oeverval is dus sterk afhankelijk van de beheers-inspanning. Hierbij spelen overwegingen rond herstel en maai-beheer een belangrijke rol. In het rapport Technisch ontwerp waterkering Kasteel is aangegeven hoe hiermee is omgegaan.

Met opmerkingen [DH3]: waar vind ik die? anders is niet een niet te verifiëren stelling

Met opmerkingen [Mdk4R3]: Die zijn hierboven gepresenteerd

5 Conclusie en aanbevelingen

Op basis van de macrostabiliteitsberekeningen wordt geconcludeerd dat de stabiliteit van het binnen- en buitentalud sterk afhankelijk is van de waterspanningen in de grondwal (freatische lijn).

Voor de stabiliteit van het binnentalud is het van belang dat de freatische lijn dusdanig kan worden beheerst dat de stijghoogte binnendijs onder de rand van de ophoging zich (minimaal) 0,5 m lager bevindt dan WBN. In dit VO is een additionele maatregel voorzien om opbouw van waterspanningen onder het binnentalud te beperken. Naast de grondverbetering wordt een drain in de dijk aangebracht. De toepassing van deze drain is nader toegelicht in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

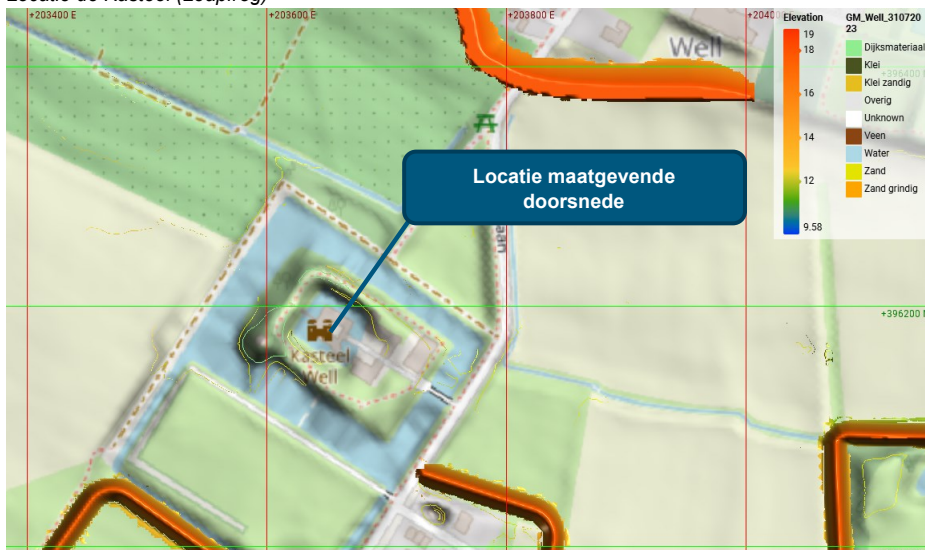
Ter plaatse van het buitentalud kan lokale instabiliteit bij een vallende waterstand optreden, een oeverval. Gezien de breedte van de waterkering zal er na een oeverval nog voldoende restbreedte aanwezig zijn om overstroming bij de vallende buitenwaterstand te voorkomen. Een voorwaarde is wel dat het beheer zo wordt ingericht dat oevervallen tijdig worden opgemerkt en worden hersteld voordat het volgende hoogwater zich aandient. Zonder goed beheer zal de reststerkte ten aanzien van macrostabiliteit en erosie afnemen en wordt het overstromingsrisico mogelijk onbeheersbaar. De afweging hoe om te gaan met het risico op een oeverval is dus sterk afhankelijk van de beheers-inspanning. Aanpassingen van steile delen op het talud zullen afgewogen moeten worden tegen deze extra beheersinspanning.

6 Referenties

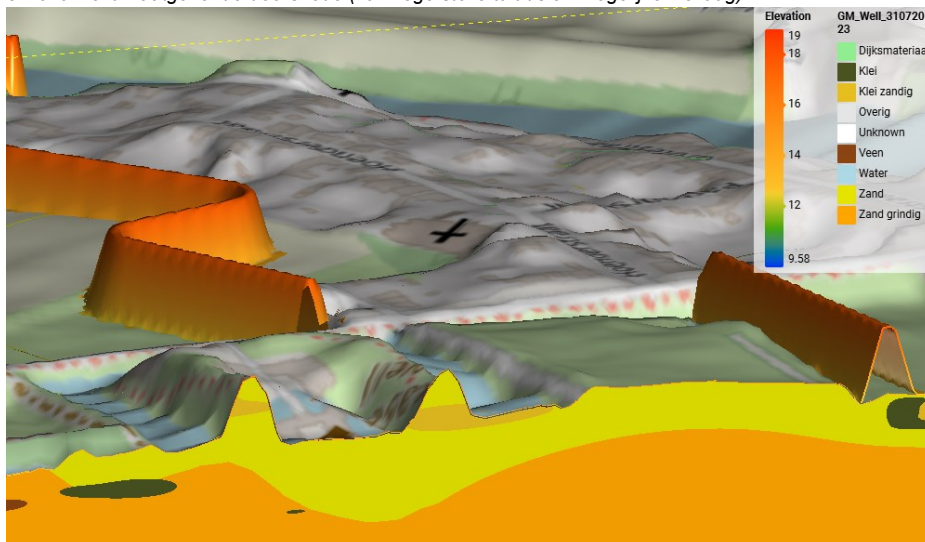
- [1] Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well , Technisch Ontwerp maatwerk Kasteel, Royal HaskoningDHV, BJ1000_W3210-2_ Technisch ontwerp waterkering kasteel VO
- [2] Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well Technische Uitgangspunten Notitie, Royal HaskoningDHV, BJ1000_W3420-3_ TUN Waterkeringen
- [3] Project Well Nota van Uitgangspunten Definitief Rapport, HKV Lijn In Water, Maart 2023
- [4] Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Royal HaskoningDHV, BJ1000_W3420-3.7_ Kasteel verweking binnengracht

Bijlage 1: Resultaten macrostabiliteit

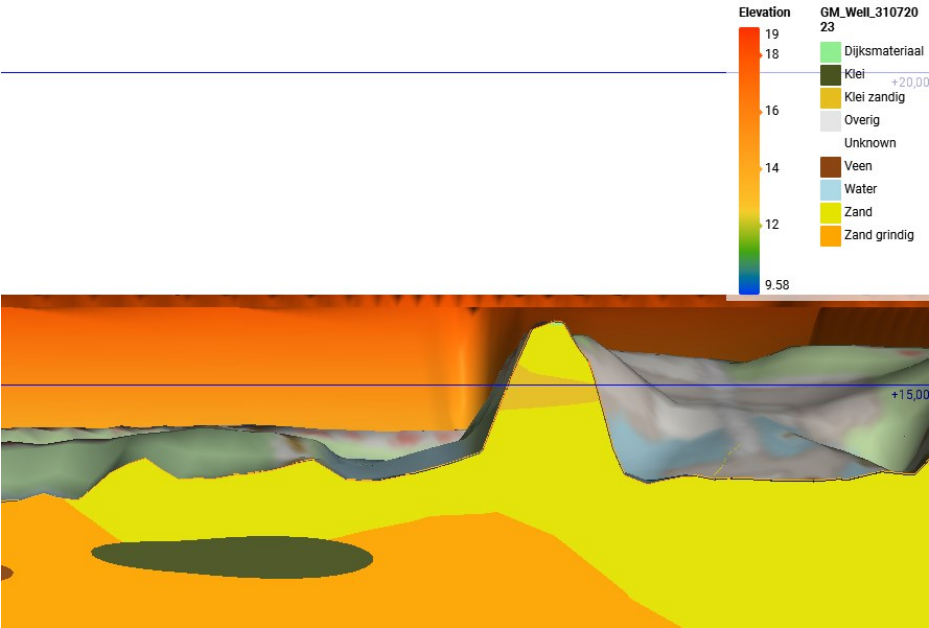
Locatie de Kasteel (Leapfrog)



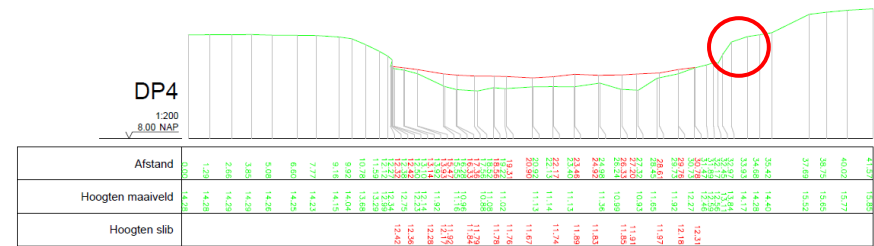
3D overzicht maatgevende doorsnede (vanwege steile taluds en mogelijke kleilaag)

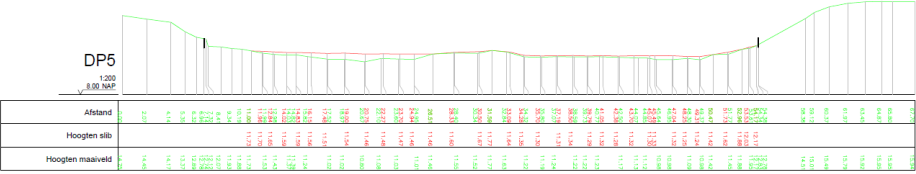


Doorsnede maatgevende locatie

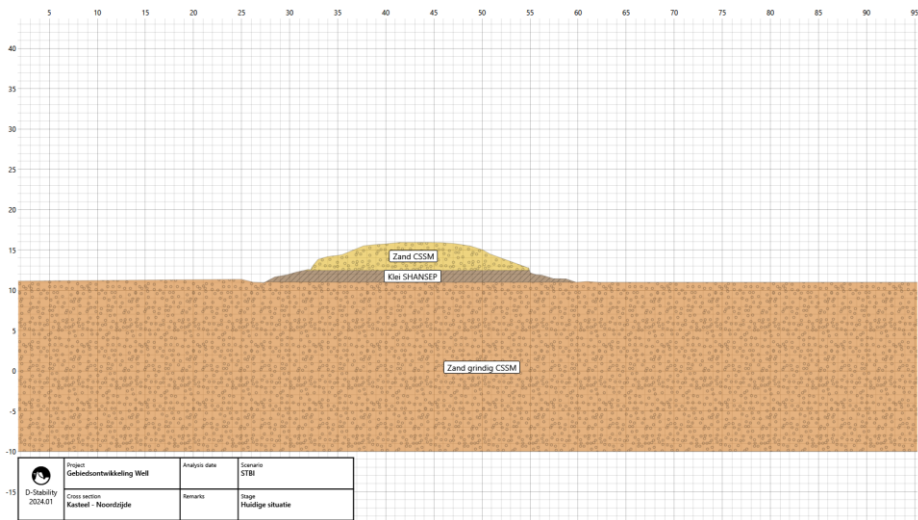


Opgemerkt wordt de geometrie in Leapfrog uit AHN is verkregen. Ter hoogte van de beschouwde maatwerklocatie is deze niet actueel. Daarom zijn inmetingen verkregen voor de geometrie. Het omcirkelde talud in de onderstaande figuur bleek in zelfs de huidige situatie te bezwijken. Om toch de relevante faalmechanismes te kunnen beschouwen is dit talud daarom niet gemodelleerd.

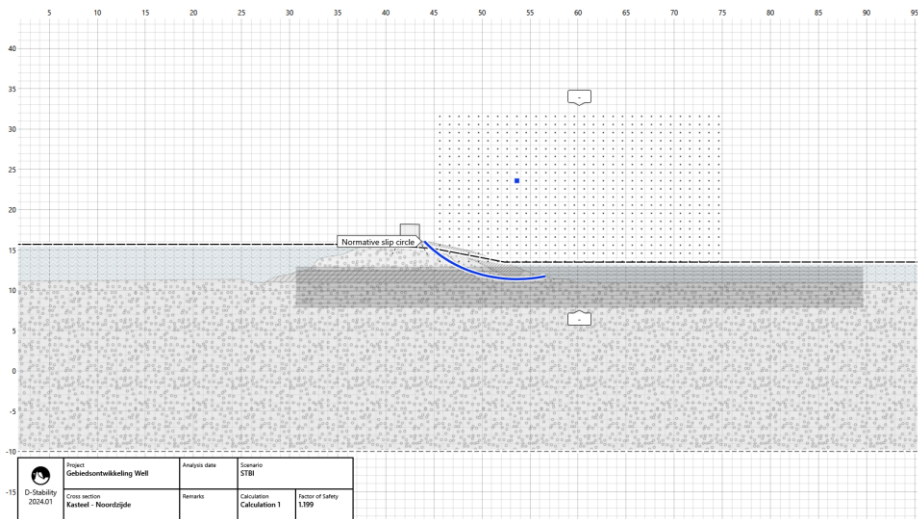




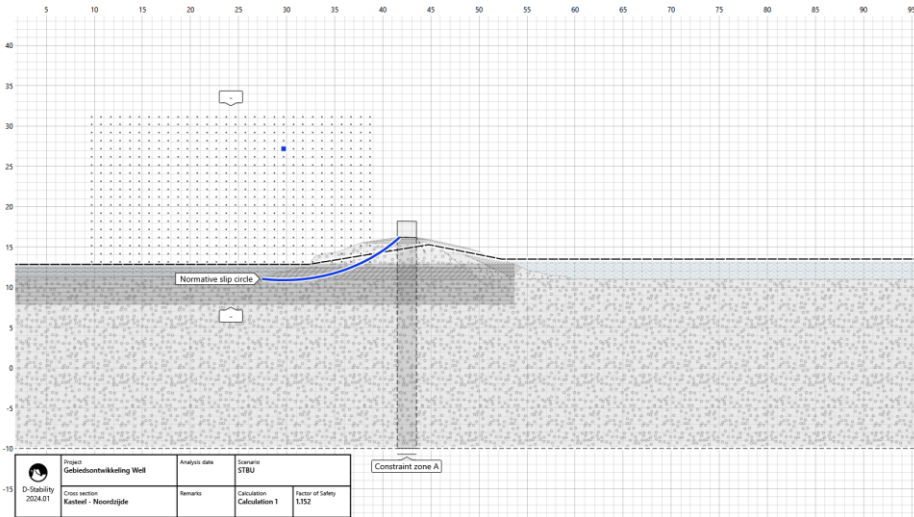
Bestaande situatie



STBI: Maatgevend Hoogwater (Bishop)



STBU: Peil na Val Maatgevend Hoogwater (Bishop)



Gevoeligheidsanalyse

