WiB Valkenburg

Waterveiligheidsanalyse



Lijst met aanpassingen

Versie	Datum	Beschrijving
C1.0	19-07-2024	Eerste conceptversie
D1.0	04-09-2024	Definitieve versie (geen wijzigingen)

Sweco Nederland B.V.	Handelsregister 30129769		
Onderwerp	Water in Balans Geotechnische toetsing	**Gecontroleerd door:**	
Projectnummer	51014488		
Klant	Waterschap Limburg	**Vrijgegeven door:**	
Auteur			
Datum	04-09-2024		
Documentreferentie	NL24-648800269-95973		

Inhoudsopgave

1 Inleiding 5
1.1 Aanleiding 5
1.2 Doel 6
1.3 Leeswijzer 6

2 Uitgangspunten 7
2.1 Veiligheidsfilosofie 7
2.1.1 Vereiste veiligheidsfactor STBI 7
2.1.2 Partiële materiaalfactoren 8
2.2 Grondparameters 9
2.2.1 Leem 9
2.2.2 Klei 9
2.2.3 Zand 9
2.2.4 Dijkmateriaal 10
2.2.5 Consolidatiecoëfficient 10
2.2.6 Overzicht grondparameters 10
2.2.7 Hoek van inwendige wrijving 10
2.3 Hydraulische randvoorwaarden 11
2.3.1 Dagelijkse waterstand 11
2.3.2 Maatgevende buitenwaterstand 11
2.4 Verkeersbelasting 12
2.5 Zetting 12
2.5.1 Equivalent age 13
2.6 Programmatuur 13

3 Beschrijving deelgebieden 14
3.1 Deelgebied 2: buffer Poort 14
3.1.1 Bodemopbouw 16
3.1.2 Maatgevende doorsnede STBI 16
3.2 Deelgebied 7: buffer Sibbergrubbe 17
3.2.1 Bodemopbouw 19
3.2.2 Maatgevende doorsnedes en scenario's STBI 19
3.3 Deelgebied 8: buffer Emmaberg 20
3.3.1 Bodemopbouw 22
3.3.2 Maatgevende doorsnede STBI 22

4 Resultaten 24
4.1 STBI 24
4.1.1 Deelgebied 2: buffer Poort 24
4.1.2 Deelgebied 7: buffer Sibbergrubbe 24

4.1.3 Deelgebied 8: buffer Emmaberg 25
4.2 Zetting 26

5 Conclusie en aanbevelingen 27
5.1 Deelgebied 2 buffer Poort 27
5.2 Deelgebied 7 buffer Sibbergrubbe 27
5.3 Deelgebied 8 buffer Emmaberg 27
5.4 Aanbevelingen 28

6 Referenties 29

Bijlage 1 Resultaten STBI 30
Deelgebied 2 Poort 30
Deelgebied 7 Sibbergrubbe 30
Deelgebied 8 Emmaberg 34

Bijlage 2 Resultaten zetting 39

1 Inleiding

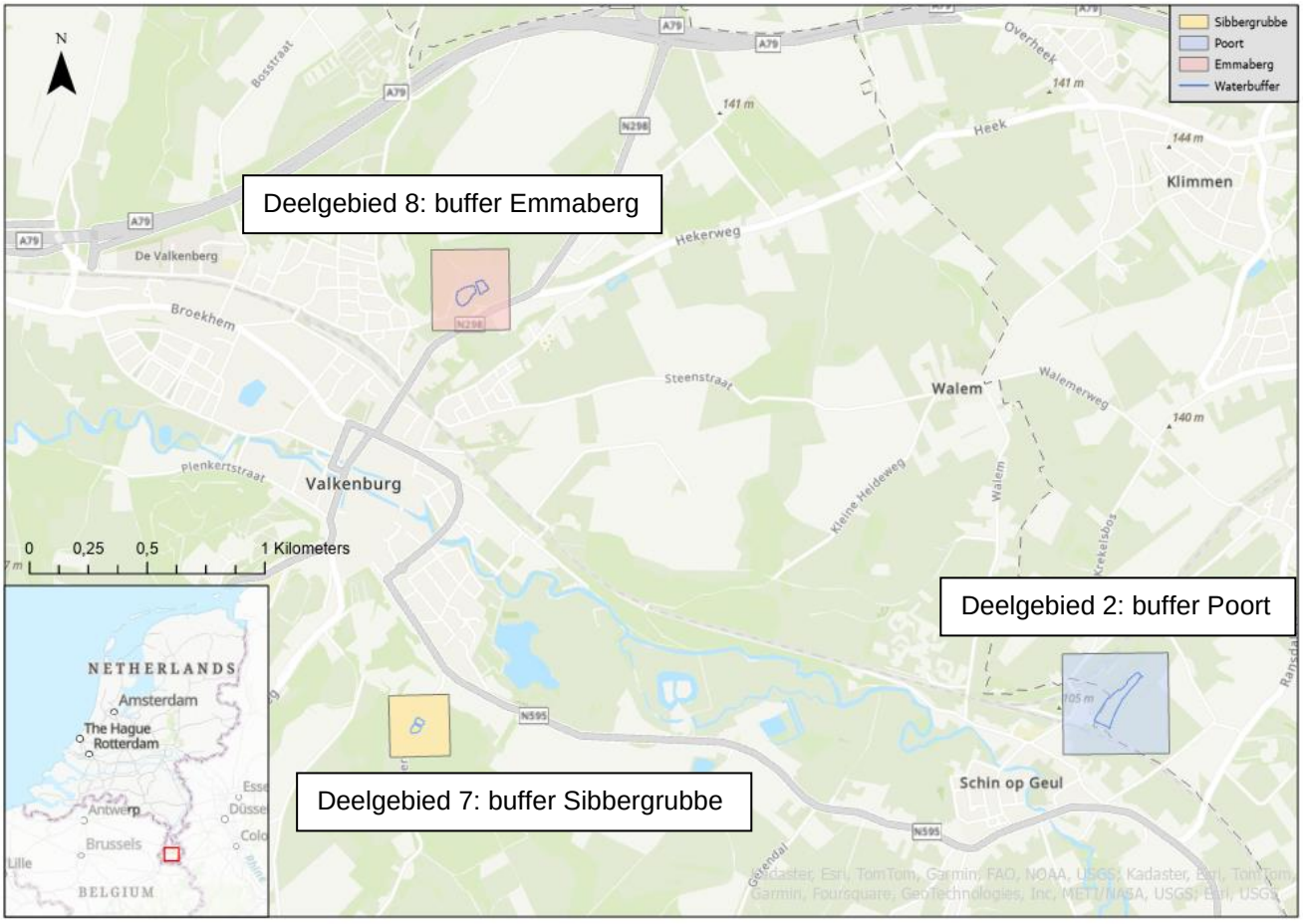
1.1 Aanleiding

Wateroverlast als gevolg van hevige neerslag is een steeds vaker voorkomend probleem in de dalen van Limburg. Om deze reden is Waterschap Limburg het programma Water in Balans gestart, met als doel het verminderen van de wateroverlast.

Een van de methodes om wateroverlast te beperken is het vasthouden van water op aangewezen locaties. Hiermee wordt de afvoerpiek in het dal afgezwakt en verspreid, waardoor het systeem beter om kan gaan met de grote hoeveelheden water. Het gebied rondom Valkenburg is een van die locaties.

Tussen Valkenburg en Schin op Geul in de gemeenten Valkenburg aan de Geul en Voerendaal worden bestaande waterbuffers aangepast en nieuwe waterbuffers gerealiseerd. Dit project bestaat uit drie deelgebieden, namelijk Poort (deelgebied 2), de Sibbergrubbe (deelgebied 7) en de Emmaberg (deelgebied 8). De locaties zijn weergegeven in Figuur 1-1.

Voor deze drie deelgebieden zijn ontwerpen gemaakt van waterkeringen. Deze hebben de status van ‘tertiaire kering’. Voorliggende rapportage toetst de ontwerpen op stabiliteit en zetting.



Figuur 1-1: Overzichtsfiguur van de drie projectlocaties.

1.2 Doel

Het doel van voorliggende rapportage is het toetsen van de waterveiligheid van de ontworpen tertiaire waterkeringen. Hiertoe wordt het geotechnisch ontwerp getoetst op stabiliteit en worden overige faalmechanismen beschouwd om een veilig ontwerp te garanderen. Tevens wordt middels een inschatting van de verwachte zettingen advies gegeven over de aanleghoogte van de bufferkering.

1.3 Leeswijzer

De uitgangspunten voor de geotechnische analyses zijn gepresenteerd in Hoofdstuk 2. De deelgebieden zijn toegelicht in Hoofdstuk 3, de resultaten in Hoofdstuk 4 en de conclusie en aanbevelingen in Hoofdstuk 5.

2 Uitgangspunten

2.1 Veiligheidsfilosofie

Het water in de waterbuffers wordt op zijn plek gehouden door grondlichamen. Deze grondlichamen zijn waterkeringen maar hebben niet de status als zodanig, maar de functie en gevolgen bij falen zijn hetzelfde als bij regionale waterkeringen. Daarom worden de waterkeringen benaderd als regionale keringen en ook als zodanig getoetst. De veiligheidsfilosofie staat beschreven in de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen [1]. Op basis van de gevolgen bij falen is er in samenspraak met het waterschap een normfrequentie van 1/300 jaar afgesproken.

2.1.1 Vereiste veiligheidsfactor STBI

Om de stabiliteit te toetsen wordt gebruik gemaakt van een vereiste veiligheidsfactor. De bepaling daarvan is beschreven in Module D van de Leidraad toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen [2]. De veiligheidsfactor is een combinatie van de schadefactor, modelfactor en schematiseringsfactor en wordt gegeven door de volgende formule:

$$\gamma_{STBI} = \gamma_n \gamma_d \gamma_s$$

Waarbij:

γ_n	Schadefactor	[-]
γ_s	Schematiseringsfactor	[-]
γ_d	Modelfactor	[-]

In de volgende paragrafen worden deze drie factoren eveneens als de veiligheidsfactor verder toegelicht.

2.1.1.1 Schadefactor

De schadefactor is afhankelijk van het type regionale waterkering en de veiligheidsnorm daarvan. De veiligheidsnorm is geformuleerd in termen van veiligheidsklassen volgens de zogenaamde kadeklasse-indeling die door het IPO is vastgesteld [3]. De veiligheidsnorm is vastgesteld op 1/300 per jaar wat valt binnen IPO-klasse IV. De schadefactor die bij deze IPO-klasse hoort is 0,95 [3].

Modelfactor

De modelfactor is afhankelijk van het rekenmodel en het toegepaste model voor grondgedrag [3]. Het Bishop-rekenmodel in combinatie met gedraineerd grondgedrag geeft een modelfactor van 1,0 [3].

Schematiseringsfactor

De schematiseringsfactor verdisconteert onzekerheden in de gehanteerde veilige schematisering van uitgangspunten bij de stabiliteitsbeoordeling ten aanzien van de geometrie, bodemopbouw en waterspanningen. De waarde varieert tussen 1,2 en 1,0 [3]. Er is relatief veel onzekerheid wat betreft ondergrond en waterspanningen waardoor er een schematiseringsfactor van 1,2 wordt aangehouden.

Veiligheidsfactor

De veiligheidsfactor is het product van de schadefactor, modelfactor en schematiseringsfactor. Het product van deze factoren geeft een veiligheidsfactor van 1,14 (zie Tabel 2-1).

Tabel 2-1: Overzicht schadefactor, modelfactor schematiseringsfactor en veiligheidsfactor

Schadefactor	Modelfactor	Schematiseringsfactor	Veiligheidsfactor
0,95	1,0	1,2	1,14

2.1.2 Partiële materiaalfactoren

Module C van de Leidraad toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen [3] geeft tevens een set partiële factoren om toe te passen op de sterkte- en zettingsparameters van de grond. Deze partiële materiaalfactoren brengen de onzekerheid in de toegepaste materiaalfactoren in rekening en zorgen voor een veilig en robuust ontwerp van de kering. De factoren zijn voor verschillende grondsoorten en parameters weergegeven in Tabel 2-2.

Tabel 2-2 Partiële materiaalfactoren voor regionale keringen conform [3]

Grondsoort en parameter		Symbool	Factor
-	Volumieke massa	γ	1,00
Klei (TP-CU-5%)	Cohesie	c	1,25
	Hoek van inwendige wrijving	$\tan(\varphi)$	1,20
Veen (TP-CU-5%)	Cohesie	c	1,50
	Hoek van inwendige wrijving	$\tan(\varphi)$	1,25
Zand (TP-CD)	Cohesie	c	n.v.t.
	Hoek van inwendige wrijving	$\tan(\varphi)$	1,20
-	Samendrukkingsconstanten	Terzaghi	1,10

Er worden in de leidraad [3] geen factoren gegeven voor leem of silt. Op basis van de factoren in Tabel 2-2 wordt gekozen om voor deze grondsoort de partiële materiaalfactoren te gebruiken zoals weergegeven in Tabel 2-3.

Voor de volumieke massa wordt in de berekeningen geen verhoging of verlaging toegepast. Leem heeft geen cohesie (zie paragraaf 2.2.1), hierdoor is de partiële factor voor de cohesie niet van toepassing. Omdat in de leidraad [3] voor zowel klei als voor zand een factor van 1,20 voor de hoek van inwendige wrijving wordt gegeven, wordt deze factor ook toegepast voor leem. Ten slotte wordt in de leidraad [3] voor alle grondsoorten een factor 1,10 toegepast voor de zettingsparameters, derhalve wordt deze waarde ook voor de grondsoort leem toegepast.

Tabel 2-3 Toegepaste partiële materiaalfactoren voor leem

Grondsoort en parameter		Symbool	Factor
Leem	Volumieke massa	γ	1,00
	Cohesie	c	n.v.t.
	Hoek van inwendige wrijving	$\tan(\varphi)$	1,20
	Samendrukkingsconstanten Terzaghi	-	1,10

2.2 Grondparameters

Er zijn geen laboratoriumproeven uitgevoerd op de lokale grond om de sterkte- en zettingsparameters te bepalen. Voor een conservatieve inschatting van de sterkte van de grond wordt tabel 2.b van NEN 9997-1:2017 [5] geraadpleegd. Het is belangrijk op te merken dat dit zeer conservatieve waarden zijn, waardoor de resultaten hoogstwaarschijnlijk te pessimistisch zijn. Om een betere inschatting te maken van de sterkteparameters wordt aangeraden alsnog laboratoriumonderzoek uit te voeren op de lokale gronden.

2.2.1 Leem

In het gebied is veel leem aanwezig. Deze grondsoort wordt conform NEN-EN-ISO 14688 [4] sinds 2020 gedefinieerd als silt. Het komt ook voor dat de grondsoort als klei wordt geïdentificeerd, maar dit is in veel gevallen onterecht. De leemlaag in dit gebied is een fluviatiele of eolische afzetting van kleine korrels. In het geval van eolische afzetting wordt het materiaal ook wel aangeduid met löss.

Door de mogelijk eolische afzetting van het materiaal heeft dit ronde, afgesleten korrels, een lage cohesie en is het relatief samendrukbaar. Om deze reden wordt voor de sterkte- en zettingsparameters uitgegaan van ‘leem, zwak zandig, slap’, conform tabel 2.b van NEN 9997-1:2017 [5].

2.2.2 Klei

In het gebied is sterk siltige klei aangetroffen, gemengd met een kleine fractie grind. In tabel 2.b van NEN 9997-1:2017 [5] zijn geen grondparameters gegeven voor siltige klei. Derhalve wordt uitgegaan van zwak zandige klei. De consistentie wordt als conservatieve aanname als slap aangenomen.

2.2.3 Zand

Vanwege de grote hoeveelheid siltig materiaal in het gebied, wordt voor het zand de waardes van ‘zand, sterk siltig, kleiig’ uit tabel 2.b van NEN 9997-1:2017 [5] aangehouden.

2.2.4 Dijkmateriaal

De waterkering wordt opgebouwd met grond die vrijkomt bij de geplande werkzaamheden. Het dijkmateriaal is daarmee niet uniform waardoor er ook geen unieke set aan grondparameters kan worden toegekend. Per deelgebied zal het dijkmateriaal worden gespecifieerd.

2.2.5 Consolidatiecoëfficient

Vanwege het gebrek aan grond- en labonderzoek is er geen consolidatiecoëfficient bekend. De consolidatiecoëfficient heeft geen invloed op de totale zettingen, maar slechts op de snelheid ervan. Er wordt vooralsnog uitgegaan van een waarde van 10^{-8}.

2.2.6 Overzicht grondparameters

Tabel 2-4 geeft een overzicht van de karakteristieke grondparameters volgens tabel 2.b van NEN 9997-1:2017 [5] van de grondsoorten die gevonden zijn in het gebied. Tabel 2-5 geeft de rekenwaardes van dezelfde grondsoorten weer, deze rekenwaardes zijn bepaald op basis van de partiële materiaalfactoren zoals in 2.1.2.

Tabel 2-4 Karakteristieke parameters voor grondsoorten in het gebied

Grondsoort [-]	γ_{verz} $[kN/m^3]$	γ_{onverz} $[kN/m^3]$	φ_{kar} [°]	c_{kar} $[kN/m^2]$	$C_c/1+e_0$ $[-]$	$C_{sw}/1+e_0$ $[-]$	C_a $[-]$
Leem, zwak zandig, slap	19	19	27,5	0	0,092	0,030	0,003
Klei, zwak zandig, slap	15	15	17,5	0	0,230	0,076	0,009
Zand, sterk siltig, kleiig	20	18	25,0	0	0,011	0,003	0,000

Tabel 2-5 Rekenwaardes parameters voor grondsoorten in het gebied

Grondsoort [-]	γ_{verz} $[kN/m^3]$	γ_{onverz} $[kN/m^3]$	φ_{rek} [°]	c_{rek} $[kN/m^2]$	$C_c/1+e_0$ $[-]$	$C_{sw}/1+e_0$ $[-]$	C_a $[-]$
Leem, zwak zandig, slap	19	19	23,5	0	0,101	0,033	0,003
Klei, zwak zandig, slap	15	15	14,7	0	0,253	0,084	0,010
Zand, sterk siltig, kleiig	20	18	21,2	0	0,013	0,004	0,000

2.2.7 Hoek van inwendige wrijving

Initieel is gerekend met de hoek van inwendige wrijving φ zoals weergegeven in Tabel 2-5. In een onderzoek van Fugro naar de stabiliteit van een bufferdam in Meerssen [10] zijn echter triaxiaalproeven uitgevoerd op de lössgrond in dat gebied. Daaruit volgde een karakteristieke waarde voor de hoek van inwendige wrijving gelijk van 36,0˚, met als rekenwaarde 30,0˚.

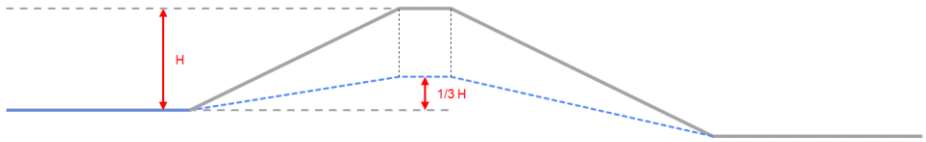
Indien de berekeningen uitwijzen dat de waterkeringen niet aan de stabiliteitseisen voldoen, worden gevoeligheidsanalyses gedaan met deze waarde.

2.3 Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden worden beschreven door een freatische lijn over het grondlichaam. Deze freatische lijn is afhankelijk van de dagelijkse en maatgevende binnen- en buitenwaterstand. Er is geen sprake van een nabijgelegen grote rivier in combinatie met een watervoerende laag waardoor er geen stijghoogte wordt geschematiseerd.

2.3.1 Dagelijkse waterstand

Binnen het projectgebied is er geen peilbuisdata beschikbaar met informatie over de ligging van de dagelijkse waterstand. Het projectgebied ligt in een afstroomgebied en voert in principe alleen water bij regenval. In overleg met het waterschap is besloten dat de grond binnen het projectgebied onder dagelijkse omstandigheden volledig verzadigd is. De freatische lijn wordt daarom rondom de kering ter hoogte van het maaiveld gelegd. In de kern van de kering wordt een opbolling met een hoogte die gelijk is aan $1/3H$ geschematiseerd, waarbij H gelijk is aan de hoogte tussen de buitenteen en de kruin. De schematisering is grafisch weergegeven in Figuur 2-1.



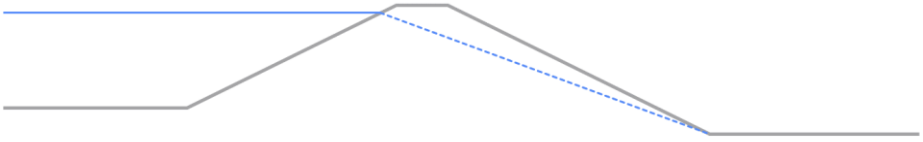
Figuur 2-1 Schematisering van de freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden

2.3.2 Maatgevende buitenwaterstand

Elke kering bevat een overlaat, welke overtollig water afvoert. Binnen de waterbuffer kan het waterniveau stijgen totdat het niveau van de overlaat bereikt wordt. Als het waterniveau verder stijgt wordt dit ‘overtollig’ water direct middels de overlaat afgevoerd. De hoogste en tevens maatgevende waterstand wordt dus bepaald door de hoogte van de overlaat.

Het verloop van de freatische lijn binnen het grondlichaam gedurende hoog water is afhankelijk van de grondsoort van de dijkkern en is beschreven in het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [6]. In deelgebieden 2, 7 en 8 is de grondsoort respectievelijk klei, zand en leem. Van deze grondsoorten is zand het meest conservatief en daarom wordt initieel uitgegaan van schematisatie vergelijkbaar als bij goed doorlatend materiaal. Het verloop van de freatische lijn verloopt vanaf het contactpunt met het grondlichaam lineair tot aan de binnenteen [6] (zie Figuur 2-2).

Indien de ontwerpen niet voldoen, kan voor deelgebied 2 een schematisatie voor klei worden toegepast. De grondsoort leem wordt niet beschreven in het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [6]. Daarom wordt voor deelgebied 8 ook uitgegaan van zand.



Figuur 2-2 Schematisering van de freatische lijn onder maatgevende omstandigheden

2.4 Verkeersbelasting

In deelgebied 7 komt een beheerpad te liggen over de waterkering. Er wordt daarom in de stabiliteitsberekeningen rekening gehouden met verkeersbelasting. De methode om verkeersbelasting toe te passen is gebaseerd op de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen (LTVRW), module B, paragraaf 1.5.1.

Aangezien de kruin onverhard is wordt een verkeersbelasting van 5 kN/m^2 over een breedte van 2,5 meter toegepast. De spreidingshoek is afhankelijk van de grondsoort van de toplaag. Aangezien de dijkkern van alle dijkvakken bestaat uit zand, wordt voor de spreidingshoek een waarde van 26,6° aangehouden. Het aanpassingspercentage voor de ondergrond (sterk siltig zand) is 100%.

In deelgebieden 2 en 8 komt geen onderhoudspad en wordt geen rekening gehouden met verkeersbelasting.

2.5 Zetting

Voor het bepalen van de benodigde aanleghoogte om de keringen op hoogte te houden, worden zettingsberekeningen uitgevoerd. De uitgangspunten voor deze berekeningen zijn in deze paragraaf toegelicht.

- Er wordt gebruik gemaakt van het NEN-Bjerrum Terzaghi-model.
- Aangezien er geen labonderzoek is uitgevoerd op de grond in het gebied, is er geen informatie over eventuele verhoogde grensspanning in de grond. Als conservatieve aanname wordt in eerste instantie de grensspanning gelijk aan de in-situ grondspanningen geschematiseerd.
- Aangezien er geen zettingsparameters specifiek voor dit gebied bekend zijn, wordt zekerheidshalve gebruik gemaakt van conservatieve parameters uit de NEN 9777-1 (zie Tabel 2-5).
- De zettingsberekeningen worden uitgevoerd voor een periode van 10.000 dagen, wat afgerond neerkomt op een periode van dertig jaar. Dit is een reguliere waarde voor het bepalen van de zettingen.
- In de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat grond uit het deelgebied wordt gebruikt voor de ophoging. Met andere woorden het volumieke gewicht van de ondergrond is gelijk aan dat van de ophoging.

2.5.1 Equivalent age

De ophogingen worden in alle drie de deelgebieden gerealiseerd boven op een bestaande kering. Voor de zettingsberekeningen is het belangrijk om te weten hoe lang de huidige kering er al ligt, dit is bekend als de ‘equivalent age’ van de ondergrond. Indien de kering er meer dan dertig jaar ligt, wordt aangenomen dat de ondergrond voldoende is aangepast. Deze informatie is opgevraagd bij Waterschap Limburg en op basis hiervan is het volgende aangenomen:

- De bestaande kering in deelgebied 2 is gerealiseerd in 1989. Aangezien de kering er meer dan dertig jaar ligt wordt in de zettingsberekeningen daarom uitgegaan van een ‘equivalent age’ van 10.000 dagen.
- De bestaande keringen in deelgebieden 7 en 8 zijn aangelegd tussen 1995 en 2000. Dat blijkt uit beheer & onderhoudsplannen van Waterschap Limburg, welke bij het waterschap opgevraagd kunnen worden. Voor deelgebied 8 wordt uitgegaan van een periode van 25 jaar ten tijde van de realisatie van WiB, en van een ‘equivalent age’ van 9.000 dagen (grofweg 25 jaar). In deelgebied 7 is ter plaatse van het maatgevende profiel (dwarsdoorsnede 7) echter geen bestaande kering aanwezig. Daarom kan voor de ondergrond worden uitgegaan van een ‘equivalent age’ van 10.000 dagen.

2.6 Programmatuur

Voor de stabiliteitsberekeningen wordt gebruik gemaakt van het rekenprogramma D-stability versie 2024.01.

Voor de zettingsberekeningen wordt gebruik gemaakt van het rekenprogramma D-settlement versie 21.2.1.

3 Beschrijving deelgebieden

In dit hoofdstuk worden de drie deelgebieden beschreven en wordt toegelicht welk profiel maatgevend is voor de geotechnische analyses. Hierin ligt de focus op de grondlichamen en niet op de constructies. De constructies worden voor elk deelgebied beschouwd als stabiel.

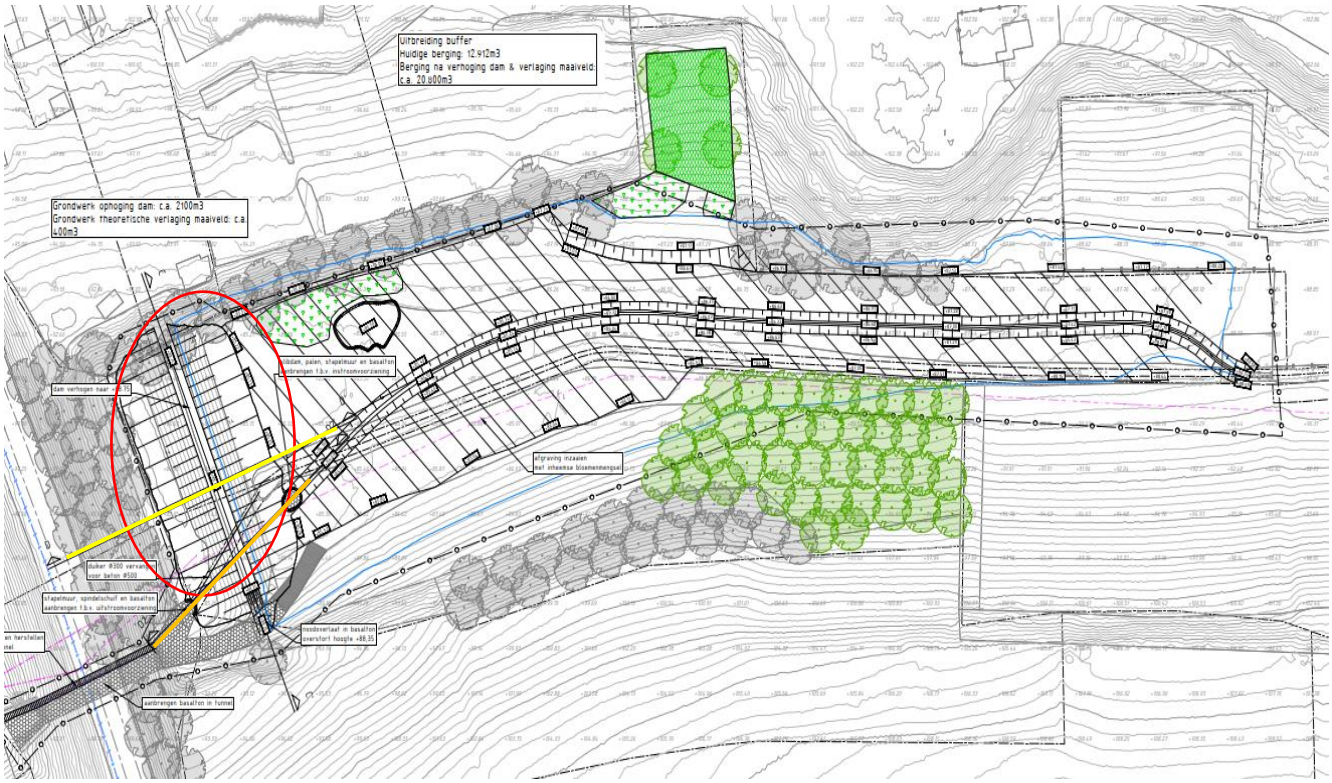
3.1 Deelgebied 2: buffer Poort

De waterbuffer is in Figuur 3-1 weergegeven door de blauwe omlijning. De rode ovaal geeft de waterkering weer. De overige zijden van de buffers behoeven geen kering omdat het natuurlijk verloop van het landschap voorkomt dat het water wegstroomt. Dit is ook terug te zien in de hoogtekaart in Figuur 3-4.

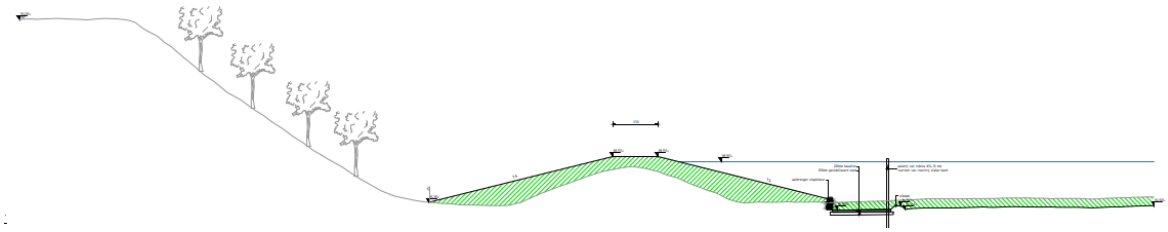
De kering heeft een maximale hoogte van NAP +88,8 m, een kruinbreedte van 3,50 m en voor zowel het binnen- als buitentalud een helling van 1:4. Het zuidelijkste gedeelte van de kering bevat een noodoverlaat uitgevoerd in basalton. Deze noodoverlaat ligt op NAP +88,4 m.

De oranje lijn in Figuur 3-1 geeft de locatie van de uitstroomvoorziening, deze uitstroomvoorziening wordt geregeld door middel van een spindelschuif. Figuur 3-2 geeft een dwarsdoorsnede weer van de kering ter hoogte van de gele lijn in Figuur 3-1. In dit figuur is goed te zien dat er al een bestaande kering aanwezig is welke vervolgens binnen dit project wordt opgehoogd. Figuur 3-3 geeft een dwarsdoorsnede weer van de kering ter hoogte van de oranje lijn in Figuur 3-1. Aan de binnenzijde van de dijk is een spoordijk gesitueerd. Deze spoordijk is terug te zien in de doorsnede weergegeven in Figuur 3-2. In Figuur 3-3 ontbreekt deze spoordijk omdat hier een tunnel onder de dijk is geconstrueerd. Deze tunnel heeft als functie om water vanuit de spindelschuif of noodoverlaat af te voeren. De ondergrond van de tunnel bestaat uit basalton.

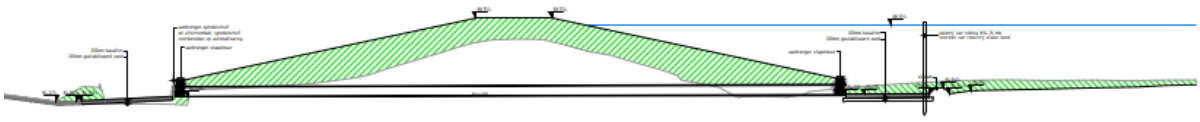
De huidige kering is aangelegd omstreeks 1989, dat blijkt uit beheer & onderhoudsplannen van Waterschap Limburg, welke bij het waterschap opgevraagd kunnen worden. Aangezien de kering meer dan dertig jaar geleden is aangelegd, wordt in de zettingsberekeningen uitgegaan van een ‘equivalent age’ van 10.000 dagen (grofweg dertig jaar).



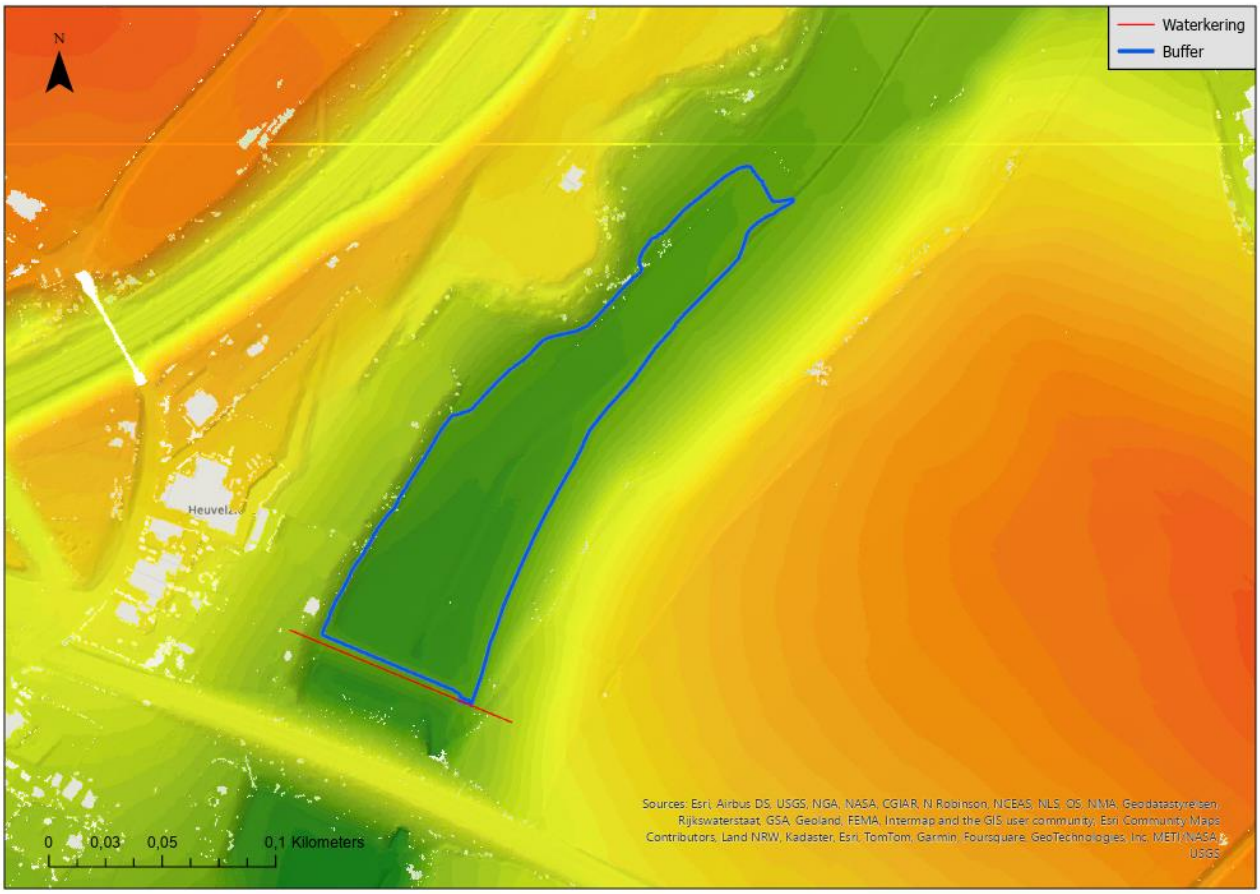
Figuur 3-1: Ontwerptekening buffer Poort. De waterbuffer is weergegeven door middel van de blauwe omlijning. De waterkering is weergegeven binnen de rode ovaal. De gele lijn is een doorsnede weergegeven in Figuur 3-2, de oranje lijn is een doorsnede weergegeven in Figuur 3-3 Tekeningnummer: T002, Datum van uitgave: 12-06-2024.



Figuur 3-2: Dwarsdoorsnede buffer poort, locatie doorsnede is gele lijn van Figuur 3-1. Doorsnede is van links naar rechts in Figuur 3-1.



Figuur 3-3: Dwarsdoorsnede buffer Poort, locatie doorsnede is de oranje lijn in Figuur 3-1. Doorsnede is van links naar rechts in Figuur 3-1.



Figuur 3-4: Overzicht waterbuffer inclusief relatieve hoogteweergave, waarbij groen relatief lager is dan rood. Waterbuffer weergegeven door de blauwe omlijning, de rode lijn geeft de locatie van de kering weer

3.1.1 Bodemopbouw

Binnen de contouren van waterbuffer Poort zijn 21 grondboringen gedaan tussen 1 en 3 meter diep. Boringen 1 t/m 9 zijn gezet in de bestaande kering en boringen 10 t/m 21 zijn in de waterbuffer gezet. Uit de boringen blijkt dat in het hele deelgebied een sterk zandige leemlaag ligt. De huidige kering bestaat uit een 1-1,5 meter dikke kleilaag. De klei is zwak/matig en zwak humeus. Voor de boringen zie [7].

3.1.2 Maatgevende doorsnede STBI

Het verloop van het landschap is een natuurlijke barrière voor de waterbuffer waardoor er maar aan één zijde van de waterbuffer een waterkering nodig is. Het ontwerp voor de kering is uniform wat de keuze voor de maatgevende doorsnede relatief eenvoudig maakt. Lijn 9 in Figuur 3-5 is de locatie van de maatgevende doorsnede. Het maatgevende scenario is hoogwater, wat wordt begrensd door de hoogte van de overlaat. Het ophoogmateriaal voor deze doorsnede bestaat uit het gevonden materiaal in de waterbuffer, namelijk leem.

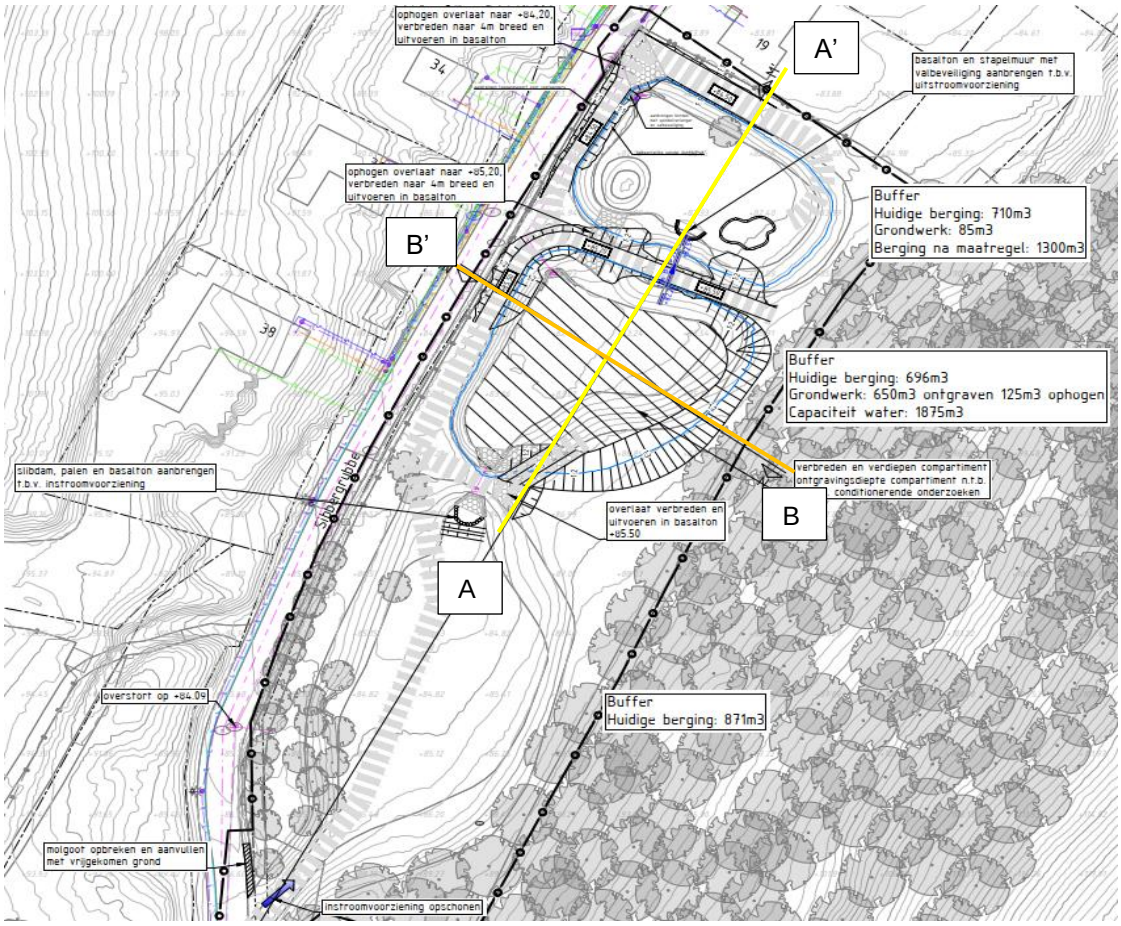


Figuur 3-5: Ingezoomde versie ontwerptekening buffer Poort. De maatgevende doorsnede is met rood aangegeven.

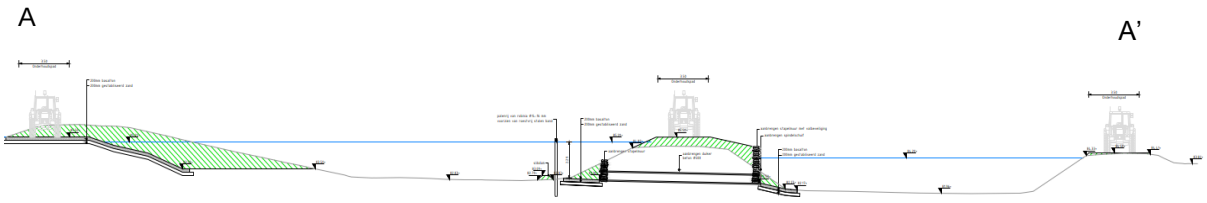
3.2 Deelgebied 7: buffer Sibbergrubbe

Figuur 3-6 geeft de ontwerptekening van buffer Sibbergrubbe weer, welke bestaat uit drie bassins. Het water loopt van zuid naar noord, dus het onderste bassin in de figuur vult zich als eerst. Alle drie de bassins zijn eerder al gerealiseerd, binnen dit project worden twee van deze bassins aangepast. De twee bassins worden verbreed en verdiept. Ze zijn in Figuur 3-6 in blauw omlijnd. De drie bassins zijn verbonden door een inlaat en hebben elk een overlaat om overtollig water af te voeren. Figuur 3-7 geeft doorsnede A-A' weer (zie Figuur 3-6) en Figuur 3-8 geeft doorsnede B-B' weer (zie Figuur 3-6).

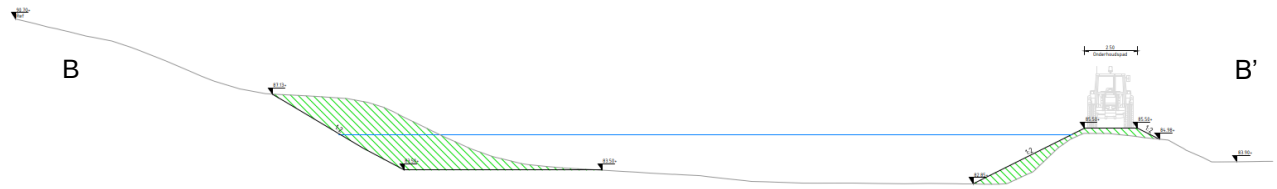
In het ontwerp is ook een stapelmuur voorzien. Deze is op zichzelf niet getoetst op stabiliteit.



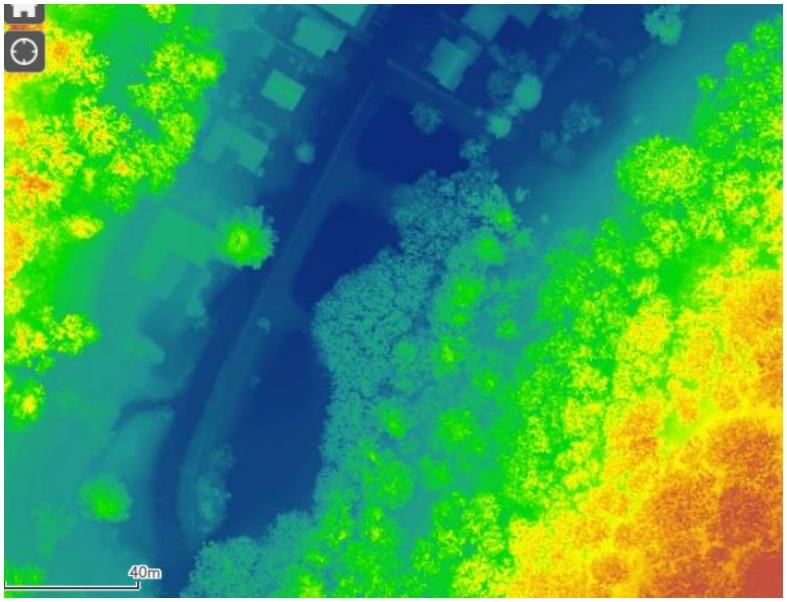
Figuur 3-6: Ontwerptekening buffer Sibbergrubbe. Drie bassins zichtbaar, de bassins die worden versterkt zijn blauw omlijnd. Tekeningnummer: T002. Datum van uitgave: 12-06-2024.



Figuur 3-7: Dwarsdoorsnede buffer Sibbergrubbe. De locatie van de doorsnede is in Figuur 3-6 weergegeven met de gele lijn. De doorsnede is van beneden naar boven in Figuur 3-6 .



Figuur 3-8: Dwarsdoorsnede buffer Sibbergrubbe. De locatie van de doorsnede is in Figuur 3-6 weergegeven met de oranje lijn.



Figuur 3-9 Deelgebied 7: buffer Sibbergrubbe hoogtekaart

3.2.1 Bodemopbouw

Binnen de contouren van de waterbuffer Sibbergrubbe zijn er zes boringen gezet. Uit de boringen blijkt dat de hele ondergrond bestaat uit zeer fijn zand, sterk siltig en sterk steenhoudend. Alle boringen zijn in de waterbuffer gezet, er is daarom geen informatie over de bodemopbouw in de bestaande kering. Aangezien de waterkeringen voor de waterbuffer in het gebied worden opgebouwd uit afgegraven materiaal wordt ervan uitgegaan dat deze kering bestaat uit het gevonden materiaal in de waterbuffer. De waterkering en het ophoogmateriaal worden daarom ook geschematiseerd als zand, sterk siltig. Voor de boringen zie [8].

3.2.2 Maatgevende doorsnedes en scenario’s STBI

De waterbuffer bestaat uit drie bassins, elk omgeven door een waterkering. Ten oosten van de bassins vormt het verloop van het landschap een natuurlijke barrière. Om de stabiliteit van dit deelgebied goed in kaart te brengen worden drie stabiliteitsberekeningen gemaakt (zie Figuur 3-10):

- Doorsnede 5: aangezien de huidige kering nieuwe hydraulische randvoorwaarden krijgt in de toekomstige situatie, is ook de huidige kering getoetst. Hiervoor is doorsnede 5 gebruikt.

- Doorsnede 7: binnenwaartse stabiliteit bij hoogwater in de bovenstroomse buffer (indien de duiker faalt).
- Doorsnede 10: buitenwaartse stabiliteit bij dagelijkse omstandigheden.

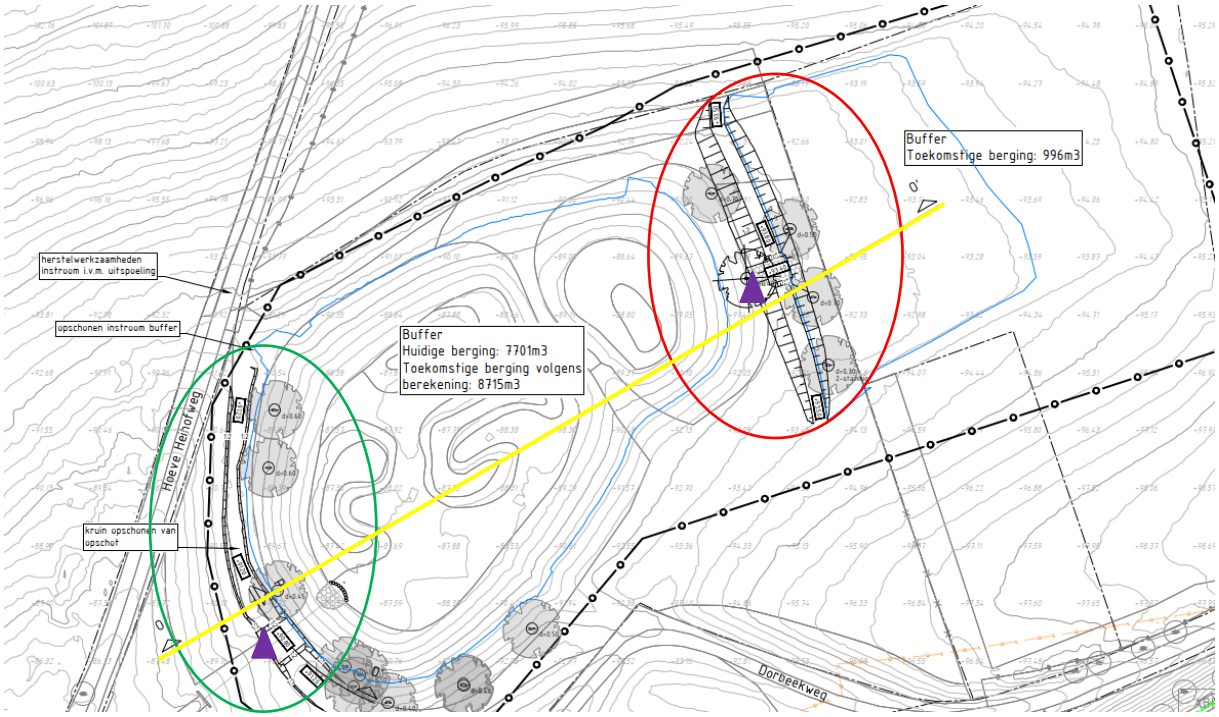


Figuur 3-10 Maatgevende doorsnedes 5 (groen), 7 (rood) en 10 (blauw)

3.3 Deelgebied 8: buffer Emmaberg

Figuur 3-11 geeft de ontwerptekening van buffer Emmaberg weer. De buffer Emmaberg bestaat uit twee bassins, één daarvan is bestaand en de andere is toekomstig. Van het bestaande bassin wordt de bergingscapaciteit vergroot. Voor deze locatie wordt de kruin van de bestaande kering iets verbreed en toekomstige kering volledig opgebouwd.

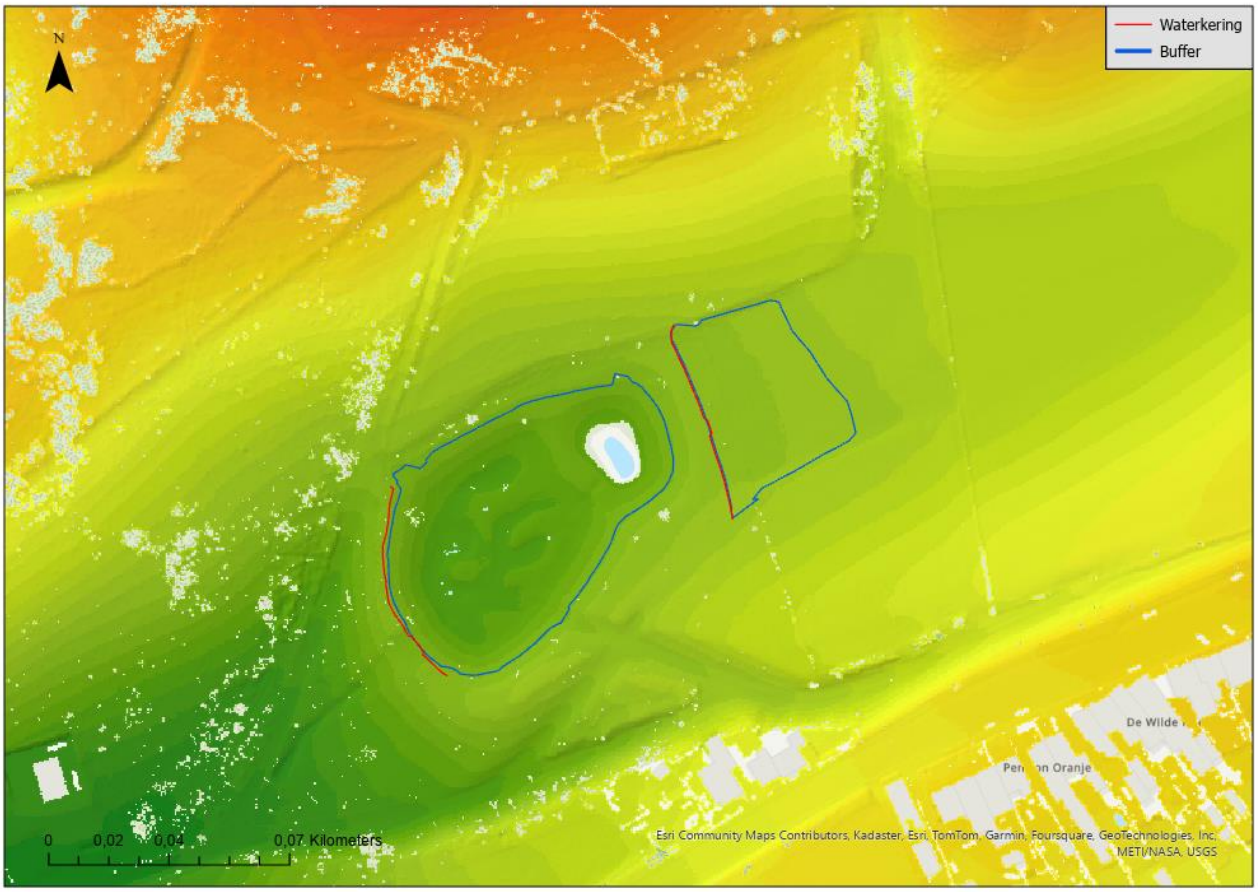
De groen-omlijnde kering in onderstaande figuur is bestaand en de rood-omlijnde is nieuw. De overige zijden van de buffers behoeven geen kering omdat het natuurlijk verloop van het landschap voorkomt dat het water wegstroomt. Dit is ook te zien op de hoogtekaart in Figuur 3-13. Er zijn twee overlaten aanwezig, welke beide zijn uitgevoerd in basalton.



Figuur 3-11: Ontwerptekening buffer Emmaberg. De twee waterbuffers zijn blauw omlijnd. De groene ovaal geeft de bestaande kering weer en de rode ovaal de toekomstige kering. De gele lijn is een doorsnede weergegeven in Figuur 3-12. De twee paarse driehoeken geven de locatie van beide overlaten weer. Tekeningnummer: T002. Datum van uitgifte 12-06-2024.



Figuur 3-12: Dwarsdoorsnede buffer Emmaberg, de locatie van de dwarsdoorsnede is in Figuur 3-11 weergegeven met de gele lijn. De doorsnede is van links naar rechts in Figuur 3-11.



Figuur 3-13: Overzicht waterbuffer inclusief relatieve hoogteweergave, waarbij groen relatief lager is dan rood. Waterbuffer weergegeven door de blauwe omlijning, de rode lijn geeft de locatie van de kering weer.

3.3.1 Bodemopbouw

Binnen de contouren van de waterbuffer Emmaberg zijn er twaalf boringen gezet (zie [9]). Alle boringen zijn 1,5 m diep en zijn vergelijkbaar qua grondsoort en bodemopbouw. De bodemopbouw bestaat voor 1,5 meter uit zwak zandig leem. Er zijn geen boringen in de bestaande kering gezet. Daarom wordt er voor de opbouw van de bestaande kering van uitgegaan dat deze uit hetzelfde materiaal bestaat als dat wat gevonden is in de bodem van de waterbuffer. Voor het dijkmateriaal en ophoogmateriaal wordt dus van grondsoort leem uitgegaan.

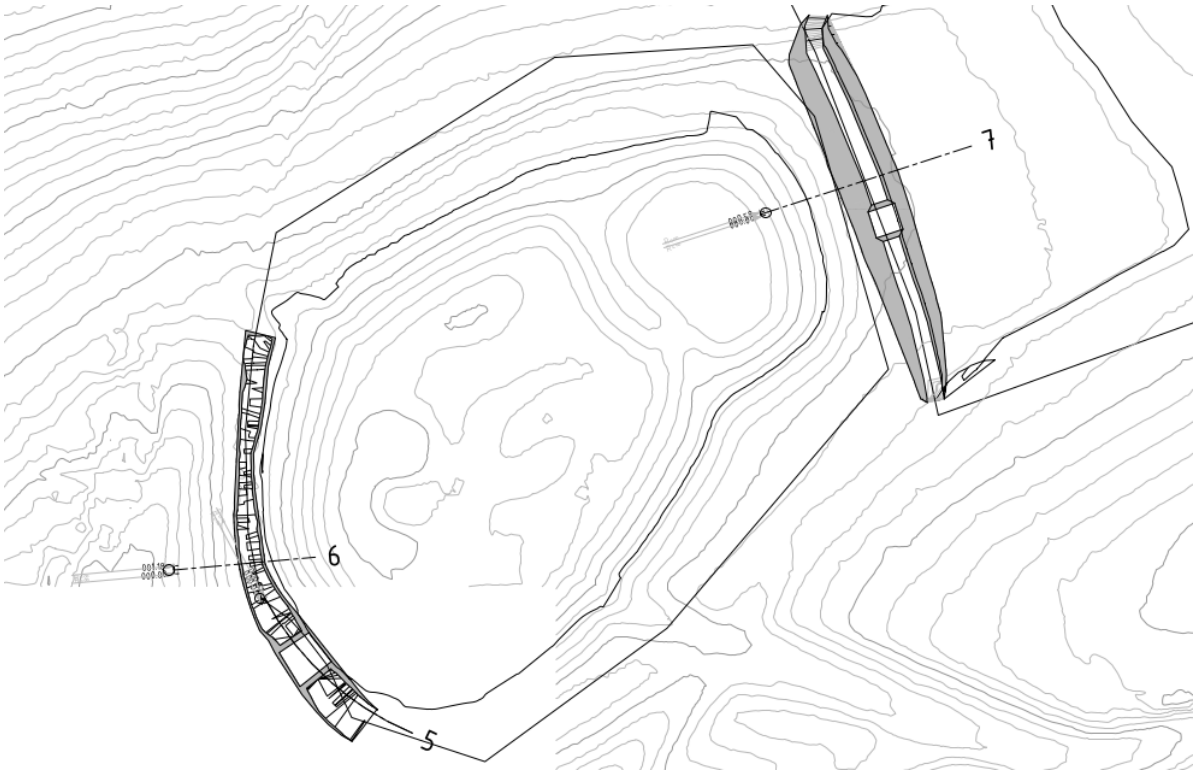
3.3.2 Maatgevende doorsnede STBI

De waterbuffer bestaat uit twee bassins. Elk bassin heeft aan één zijde een waterkering, voor het overige gedeelte van de buffer dient het verloop van het landschap als natuurlijke barrière. Voor beide keringen is er een maatgevende doorsnede bepaald.

De locatie van de maatgevende doorsnede voor de bestaande kering is aangeduid door lijn 6 in Figuur 3-14.

Er zijn drie maatgevende scenario’s doorgerekend:

- de bestaande kering, binnenwaartse stabiliteit: hoogwater in het bestaande bassin (doorsnede 6);
- de nieuwe kering, binnenwaartse stabiliteit: bij defecte waterdoorlaat, waarbij geen water is in het bestaande bassin maar wel hoogwater in het nieuwe bassin (doorsnede 7);
- de nieuwe kering, buitenwaartse stabiliteit, dagelijkse omstandigheden (doorsnede 7).



Figuur 3-14: Ingezoomde versie ontwerptekening buffer Emmaberg

4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten voor STBI en zetting in respectievelijk paragrafen 4.1 en 4.2 besproken. In beide paragrafen worden de drie deelgebieden individueel behandeld. Aangezien niet alle ontwerpen voldoen aan de eisen, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om oplossingsrichtingen te onderzoeken. De resultaten hiervan zijn gepresenteerd in paragrafen 4.1.2 en 4.1.3.

4.1 STBI

In deze paragraaf worden de resultaten van het faalmechanisme STBI voor de drie verschillende deelgebieden behandeld. De maatgevende glijvlakken zijn opgenomen in Bijlage 1.

4.1.1 Deelgebied 2: buffer Poort

Het maatgevende glijvlak voor STBI heeft een veiligheidsfactor van 1,212. Dat betekent dat deze doorsnede voldoet aan de gestelde veiligheidseis van 1,14.

4.1.2 Deelgebied 7: buffer Sibbergrubbe

Voor deelgebied 7 zijn drie stabiliteitsberekeningen gemaakt. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4-1. Zoals te zien in de tabel voldoet zowel de huidige kering als het ontwerp niet aan de stabiliteitseisen.

Er is een gevoeligheidsanalyse gedaan met twee variabelen. De eerste variabele is de hoek van inwendige wrijving φ. De aangenomen φ voor zand was overgenomen uit de NEN9997-1, echter zeer conservatief en daarmee geen verwachtingswaarde. Op basis van het onderzoek van Fugro (beschreven in 2.2.7) is ook voor zand een waarde van 30˚ aangenomen. Deze waarde is passend bij zand. De tweede variabele is de taludhelling. Een talud van 1:4 is toegepast op doorsnede 7. De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse zijn ook opgenomen in onderstaande tabel.

Tabel 4-1 Resultaten stabiliteit buffer Sibbergrubbe

Scenario	Omschrijving	SF huidige uitgangspunten*	SF met φ = 30	SF met 1:4 talud
1	Huidige kering tijdens hoogwater (doorsnede 5)	0.90	1.21	-
2	Ontwerp tijdens hoogwater: falen van de duiker, enkel hoogwater bovenstrooms, binnenwaartse stabiliteit (doorsnede 7)	0,70	0.96	1.15
3	Ontwerp tijdens dagelijkse omstandigheden, buitenwaarts (doorsnede 10)	0,49	0.62	-

**SF = Safety Factor. De eis is 1,14*

4.1.3 Deelgebied 8: buffer Emmaberg

Voor deelgebied 8 zijn drie stabiliteitsberekeningen gemaakt. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4-2. Geen van de doorgerekende profielen voldoet aan de vereiste veiligheidsfactor.

Zoals ook in de vorige paragraaf benoemd, is er een gevoeligheidsanalyse gedaan met de hoek van inwendige wrijving φ en de taludhelling. Er is een berekening met een talud van 1:3 gemaakt. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn ook opgenomen in onderstaande tabel.

Tabel 4-2: Resultaten stabiliteit buffer Emmaberg.

Scenario	Omschrijving	SF huidige uitgangspunten*	SF met φ = 30	SF met 1:3 talud	SF met φ = 30 EN 1:3 talud
1	De bestaande kering, binnenwaartse stabiliteit: hoogwater in het bestaande bassin (doorsnede 6)	1,01	1.26	-	-
2	De nieuwe kering, binnenwaartse stabiliteit: bij defecte waterdoorlaat, geen water in het bestaande bassin, hoogwater in het nieuwe bassin (doorsnee 7)	0,83	1.05	0.94	1.17
3	De nieuwe kering, buitenwaartse stabiliteit, dagelijkse omstandigheden (doorsnede 7)	0,82	1.03	1.41	-

***SF = Safety Factor. De eis is 1,14*

4.2 Zetting

De resultaten van de zettingsberekeningen zijn weergegeven in Tabel 4-3.

In deelgebied 2 Poort is klei aanwezig in de huidige kering. Deze grondsoort is relatief gevoelig voor zettingen, waardoor de verwachte zettingen in dit gebied relatief hoog zijn (0,40 m).

De ondergrond in deelgebied 7 Sibbergrubbe bestaat uit zand; een grondsoort die niet gevoelig is voor zettingen. Hierdoor zijn de verwachte zettingen in dit deelgebied minimaal.

De ondergrond in deelgebied 8 Emmaberg bestaat uit leem. Deze grondsoort zit qua zettingsgevoeligheid tussen klei en zand in. Dit is ook terug te zien in de resultaten.

De verwachte zetting is een indicatieve en conservatieve waarde. Indien de aanbevolen aanleghoogte wordt aangehouden, is de kans verwaarloosbaar dat de kruin in de toekomst onder de ontwerphoogte zakt.

Tabel 4-3 Resultaten zettingsberekeningen en aanbevolen aanleghoogtes

Deelgebied	Verwachte zetting (m)	Overhoogte (m)	Aanbevolen aanleghoogte (m NAP)
Deelgebied 2 Poort	0,40	0,4	+ 88,8
Deelgebied 7 Sibbergrubbe	0,08	0,1	+ 85,6
Deelgebied 8 Emmaberg	0,25	0,25	+ 93,8

5 Conclusie en aanbevelingen

De conclusies worden per deelgebied beschreven.

5.1 Deelgebied 2 buffer Poort

Uit de stabiliteitsberekeningen is gebleken dat het Definitieve Ontwerp (DO) met de huidige uitgangspunten geotechnisch voldoet voor deelgebied 2 Poort.

Vanwege de cohesieve grondsoort klei in de dijkkern zijn de zettingen relatief groot: 0,40 m. Aanbevolen wordt daarom om de kruinhoogte aan te leggen met een overhoogte van 0,40 m.

5.2 Deelgebied 7 buffer Sibbergrubbe

Uit de berekeningen is gebleken dat zowel de huidige kering alsook het DO voor deze buffer niet aan de stabiliteitseisen voldoet. Opgemerkt wordt dat de gehanteerde uitgangspunten zeer conservatief zijn gekozen, omdat er weinig bekend is over de ondergrond. Grondonderzoek uit de omgeving naar grondsoort leem heeft echter uitgewezen dat de hoek van inwendige wrijving φ een rekenwaarde heeft van 30,0˚ (in de berekeningen is uitgegaan van 21.2˚). Gevoeligheidsberekeningen hebben uitgewezen dat deze waarde een significante verbetering van de stabiliteitsfactor teweegbrengt. Een andere onderzochte variabele is een verflauwde taludhelling van 1:4. Een eerste gevoeligheidsanalyse bij één doorsnede heeft uitgewezen dat het ontwerp hiermee stabiel lijkt te zijn. Aanbevolen wordt om deze maatregel ook voor de andere doorsnedes door te rekenen.

De zettingen in dit deelgebied zijn vanwege het aanwezige zand zeer klein: <0,10 m. Aanbevolen wordt om zekerheidshalve een overhoogte van 0,10 m aan te houden.

5.3 Deelgebied 8 buffer Emmaberg

Hetzelfde geldt ook voor deelgebied 8. Ook hier voldoen de huidige kering en het ontwerp niet aan de stabiliteitseisen met de huidige, conservatieve, uitgangspunten. In dit deelgebied is ook een taludhelling van 1:3 onderzocht. De combinatie van een vergrote φ en een verflauwd talud kunnen ervoor zorgen dat de waterkering stabiel is. Ook hier wordt aanbevolen om deze maatregelen voor de andere doorsnedes door te rekenen.

De zettingen in dit deelgebied zijn circa 0,25 m. Aanbevolen wordt om een overhoogte van 0,25 m aan te houden.

5.4 Aanbevelingen

Op basis van de bevindingen in dit rapport worden de volgende aanbevelingen gedaan:

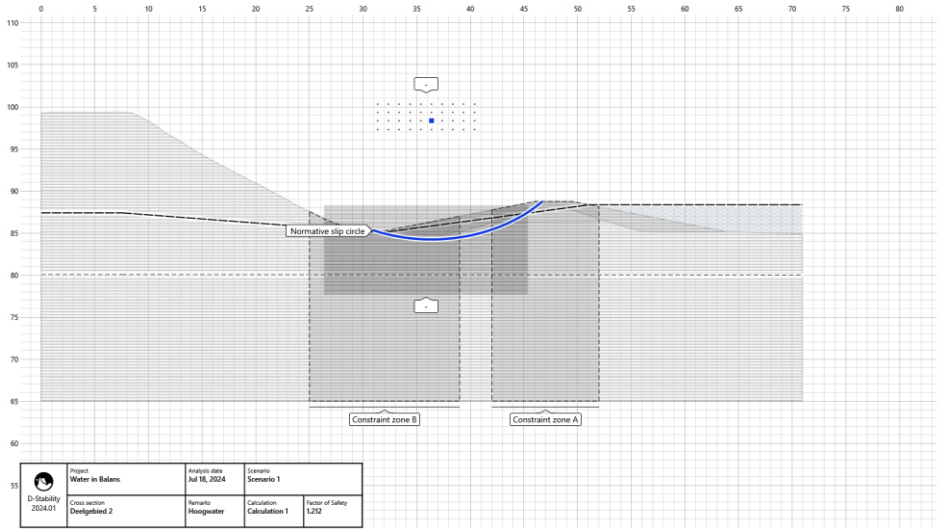
- Vanwege de geringe kennis van de ondergrond wordt aanbevolen om labonderzoek naar de ondergrond uit te voeren. Met name de sterkteparameters en de hoek van inwendige wrijving zullen verschil maken.
- De taluds verflauwen naar 1:4 (deelgebied 7) of 1:3 (deelgebied 8). Deze maatregel is op twee doorsnedes getoetst en dient nog wel doorgerekend te worden voor de overige doorsnedes.
- De aanbevolen aanleghoogte heeft invloed op de buffercapaciteit. Aanbevolen wordt om deze relatie te onderzoeken en om na te gaan of eventuele verhoging wenselijk is.

6 Referenties

[1] Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen – Module introductie met bijlagen, STOWA, 2015;
[2] Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen – Module D: Beoordeling veiligheid, STOWA, 2015;
[3] Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen – Module C: Sterkte, STOWA, 2015;
[4] NEN-EN-ISO 14688-2:2019 Geotechnisch onderzoek en beproeving – identificatie en classificatie van grond – Deel 2: Grondslagen voor een classificatie. Juli 2020;
[5] NEN 9997-1+C2 Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels. November 2017;
[6] Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), september 2004;
[7] Verkennend Waterbodemonderzoek, Deellocatie 2: Waterbuffer Poort en Ransdalerstraat, Project Valkenburg, 2302040, Silt, 2023;
[8] Verkennend Waterbodemonderzoek, Deellocatie 7: Waterbuffer Sibbergrubbe, Project Valkenburg, 2302040, Silt, 2023;
[9] Verkennend Waterbodemonderzoek, Deellocatie 8: Waterbuffer Emmaberg, Project Valkenburg, 2302040, Silt, 2023;
[10] 6422-208039.R01 Waterbuffer Visweg Meerssen, versie 1.0 Concept. Fugro NL Land B.V., 13 april 2022.

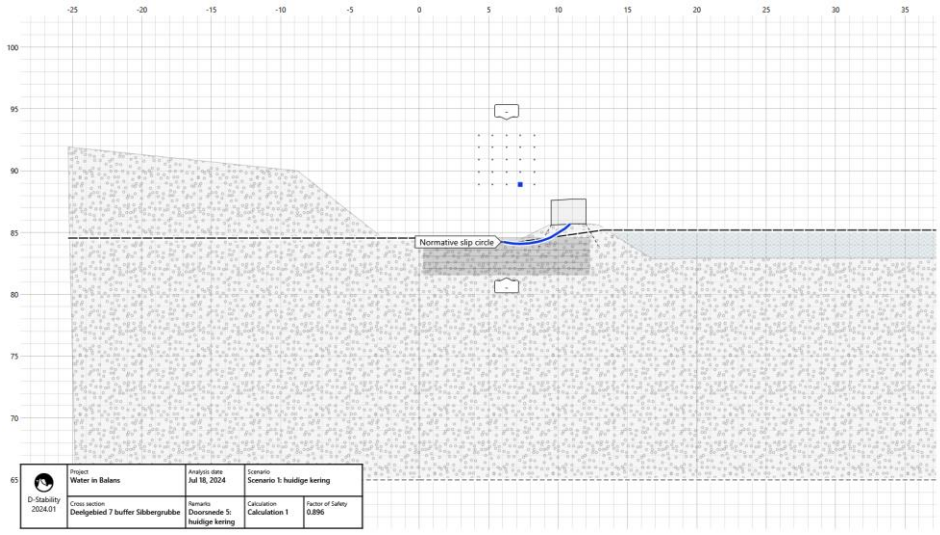
Bijlage 1 Resultaten STBI

Deelgebied 2 Poort

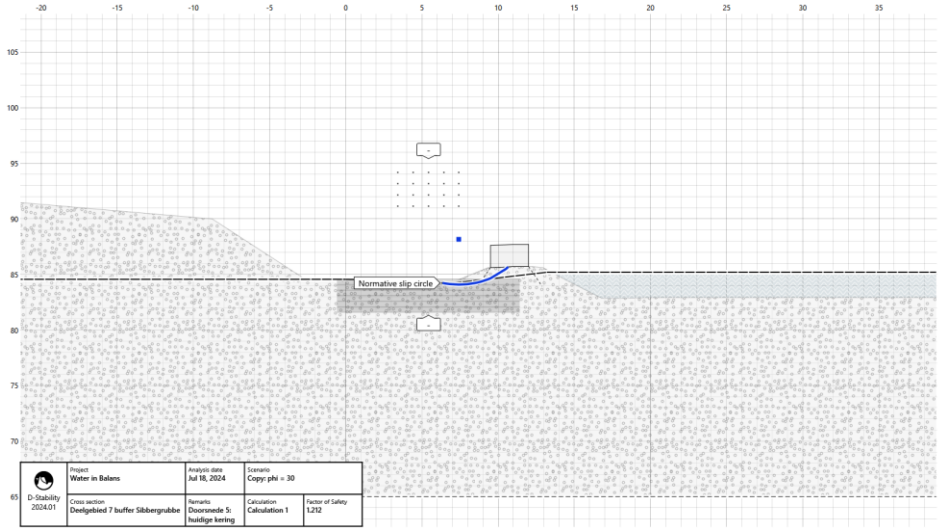


Figuur 6-1: Resultaat STBI maatgevende doorsnede buffer Poort

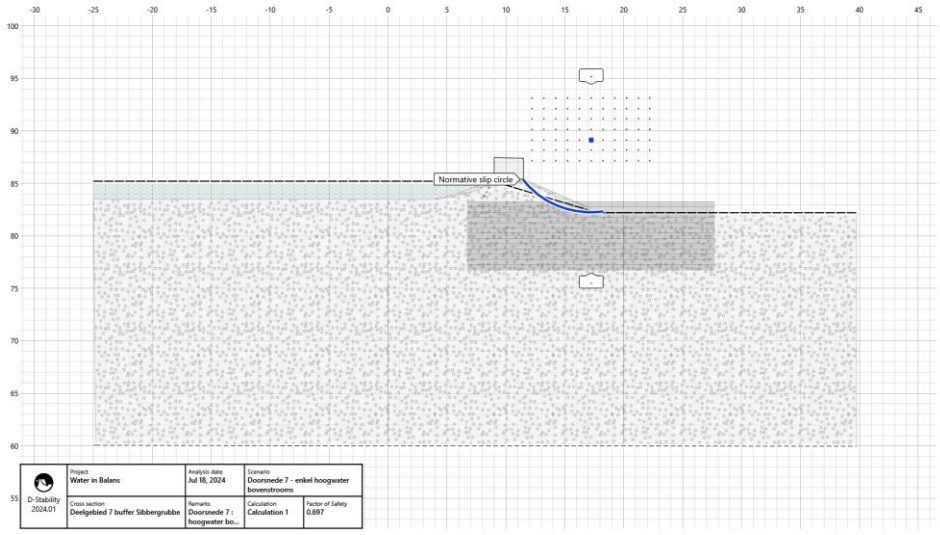
Deelgebied 7 Sibbergrubbe



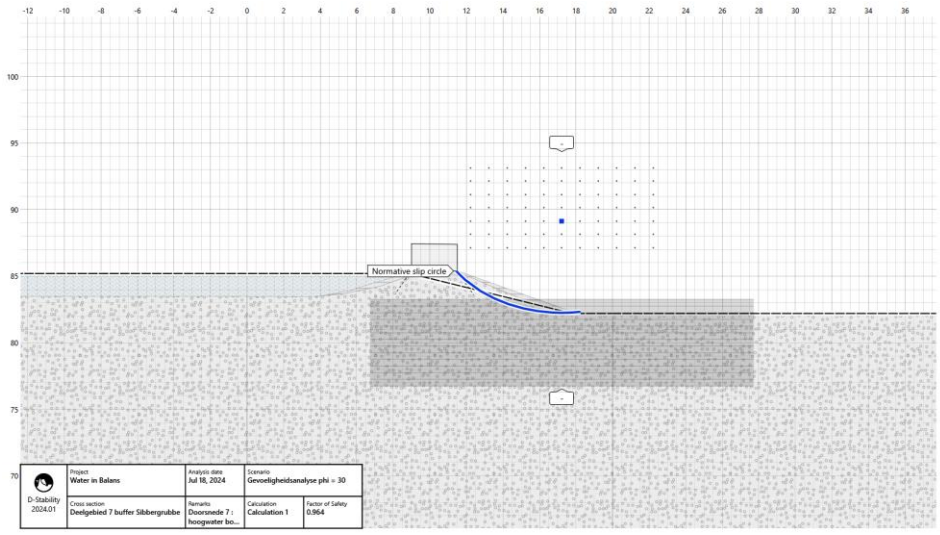
Figuur 6-2 Maatgevend glijvlak huidige kering (doorsnede 5)



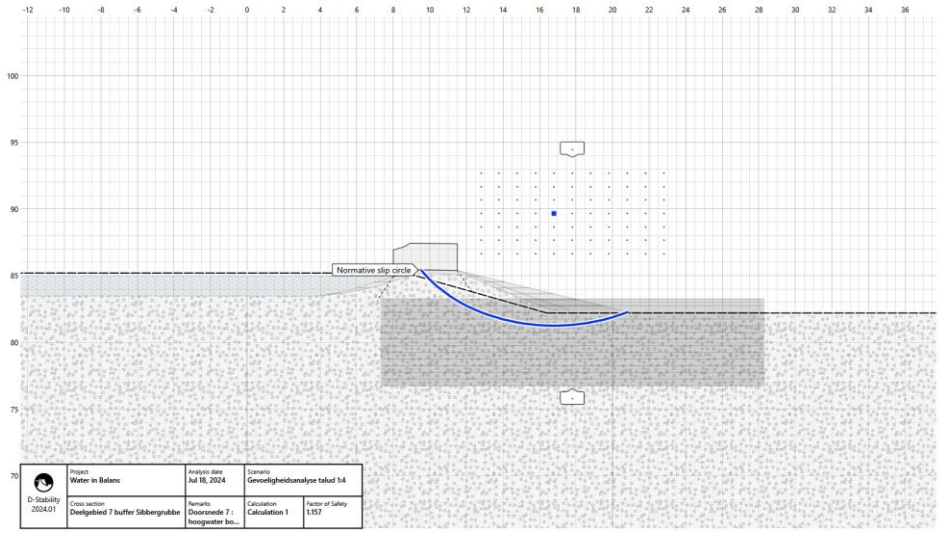
Figuur 6-3 Maatgevend glijvlak huidige kering (doorsnede 5) met φ = 30°



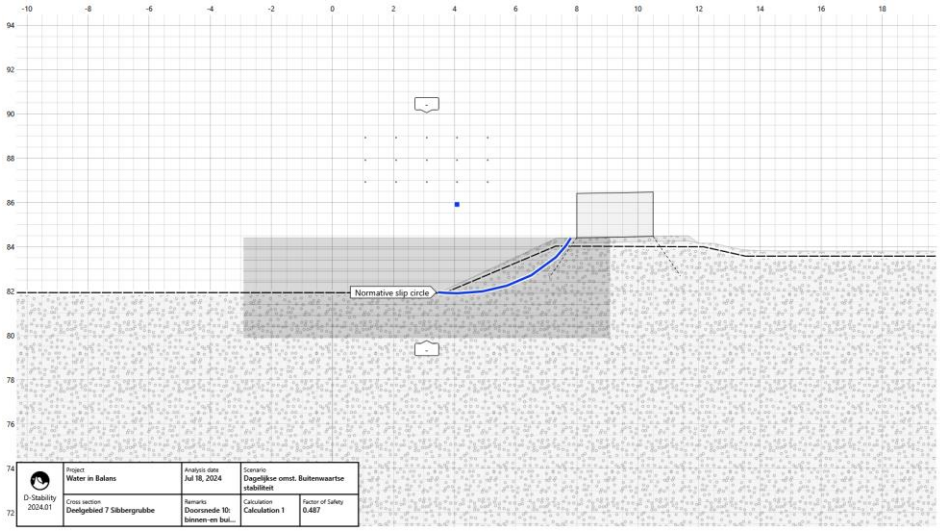
Figuur 6-4 Maatgevend glijvlak hoogwater bovenstrooms (bij falen duiker, doorsnede 7)



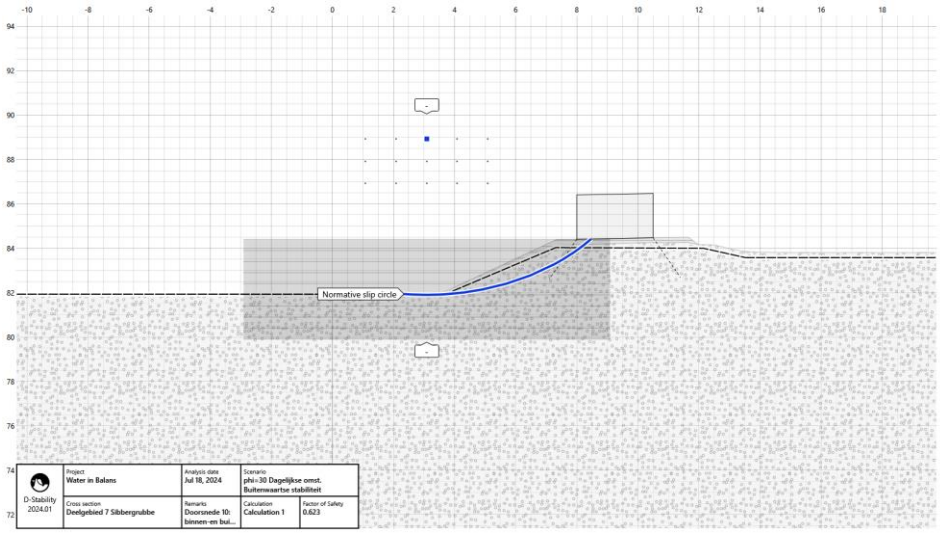
Figuur 6-5 Maatgevend glijvlak hoogwater bovenstrooms (bij falen duiker, doorsnede 7) met φ = 30°



Figuur 6-6 Maatgevend glijvlak hoogwater bovenstrooms (bij falen duiker, doorsnede 7), met 1:4 talud

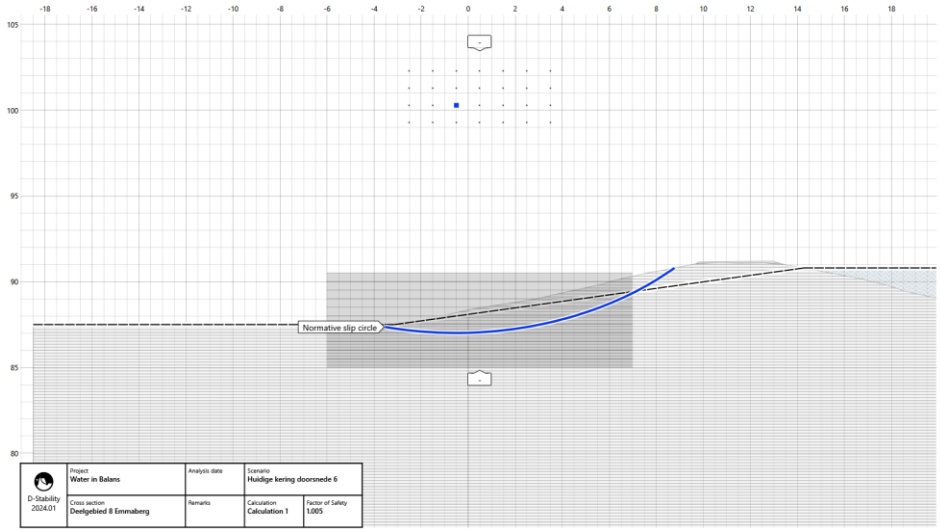


Figuur 6-7 Maatgevend glijvlak van het ontwerp bij dagelijkse omstandigheden (doorsnede 10)

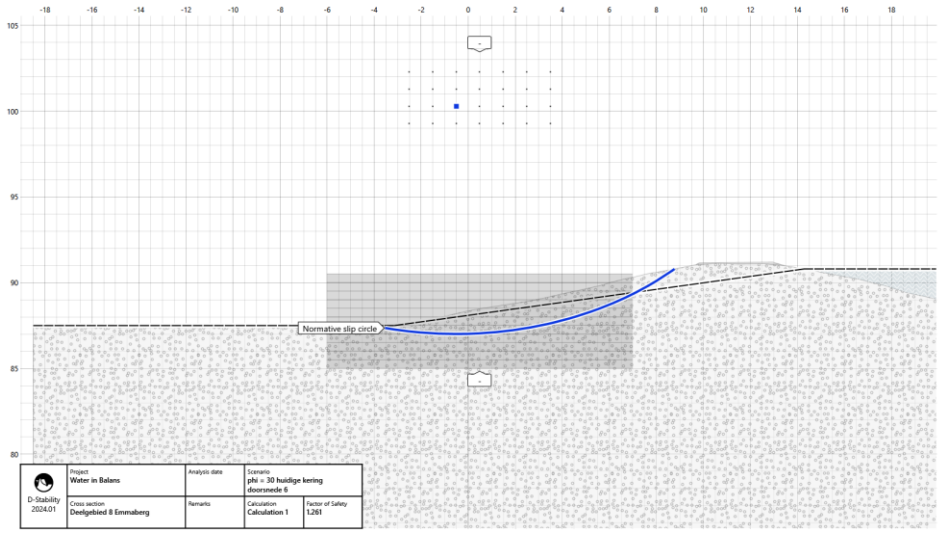


Figuur 6-8 Maatgevend glijvlak van het ontwerp bij dagelijkse omstandigheden (doorsnede 10), met φ = 30°

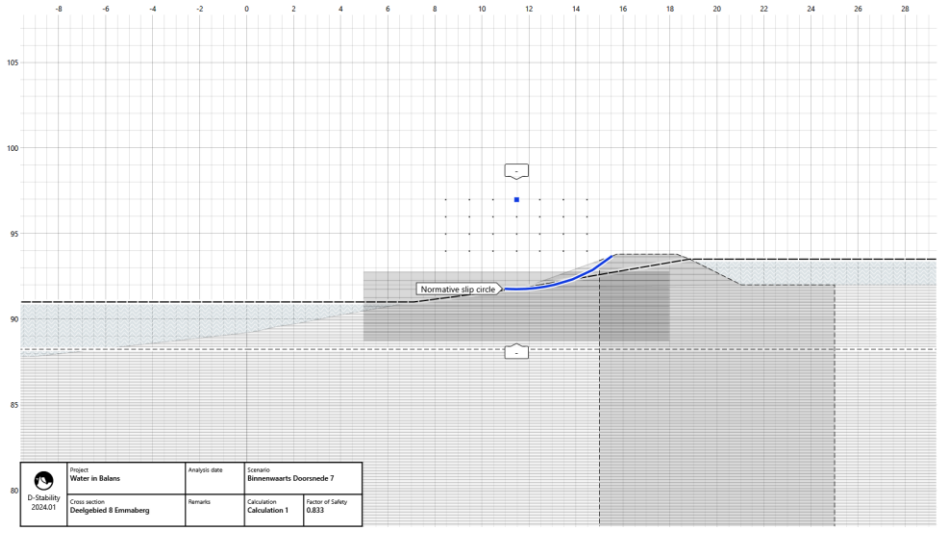
Deelgebied 8 Emmaberg



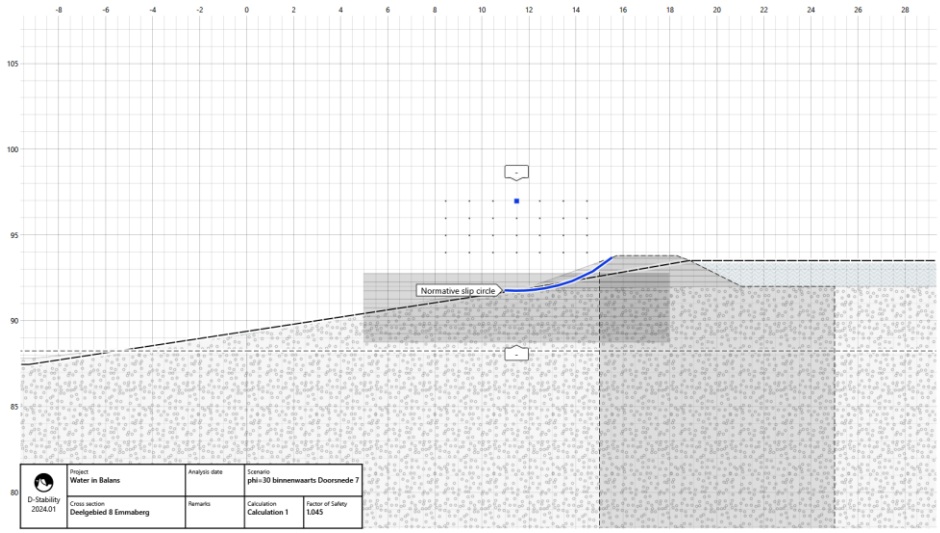
Figuur 6-9: Maatgevend glijvlak huidige kering (doorsnede 6)



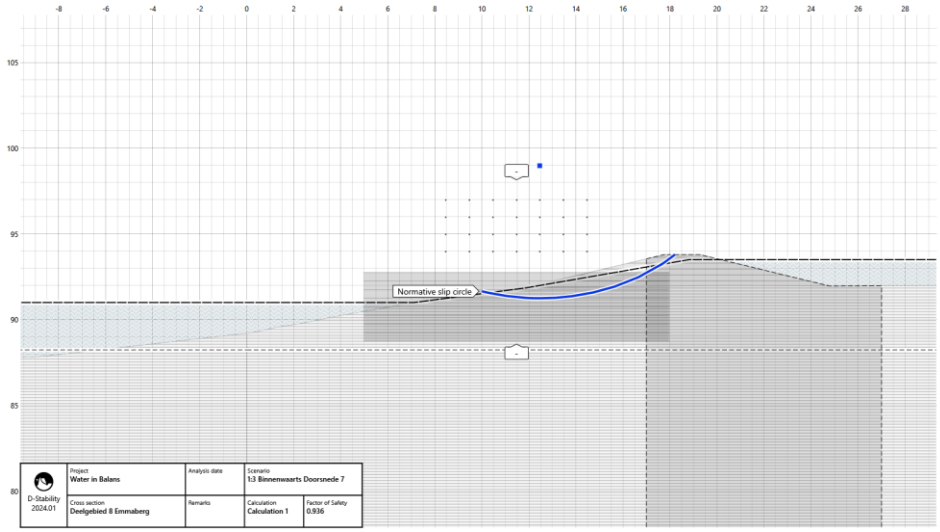
Figuur 6-10 Maatgevend glijvlak huidige kering (doorsnede 6), met φ = 30°



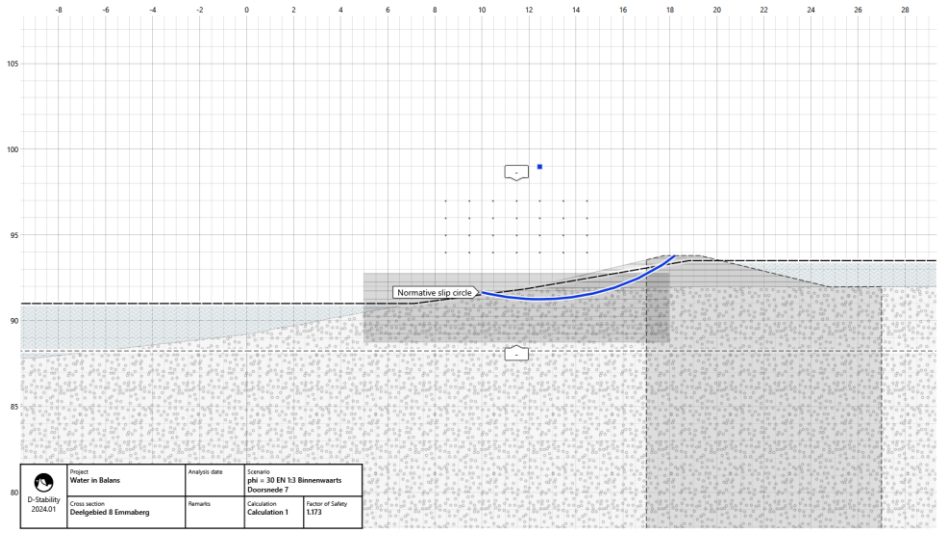
Figuur 6-11 Maatgevend glijvlak van de nieuwe kering, binnenwaartse stabiliteit (doorsnede 7)



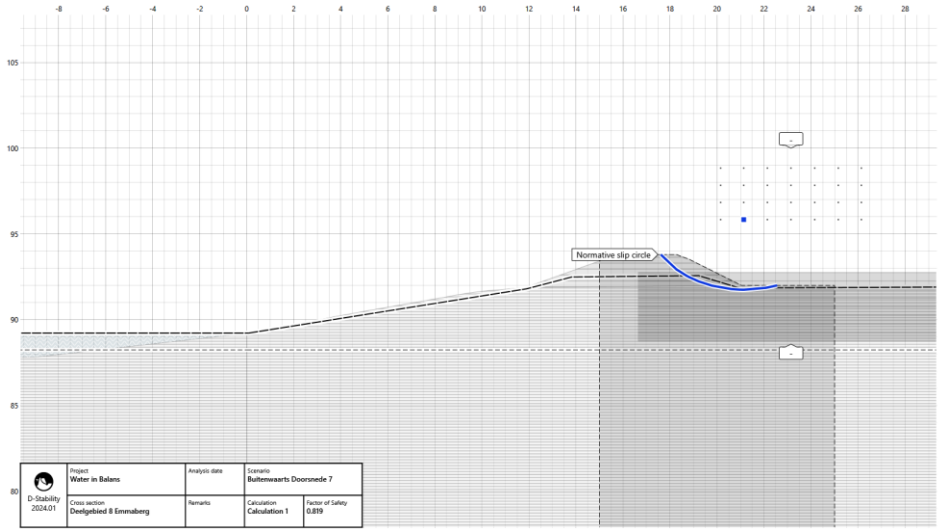
Figuur 6-12 Maatgevend glijvlak van de nieuwe kering, binnenwaartse stabiliteit (doorsnede 7), met φ = 30°



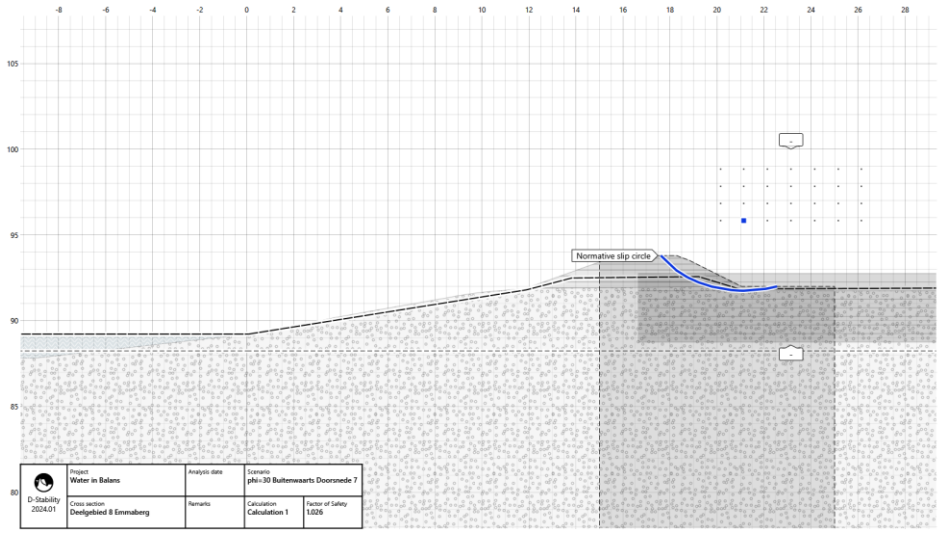
Figuur 6-13 Maatgevend glijvlak van de nieuwe kering, binnenwaartse stabiliteit (doorsnede 7), met 1:3 talud



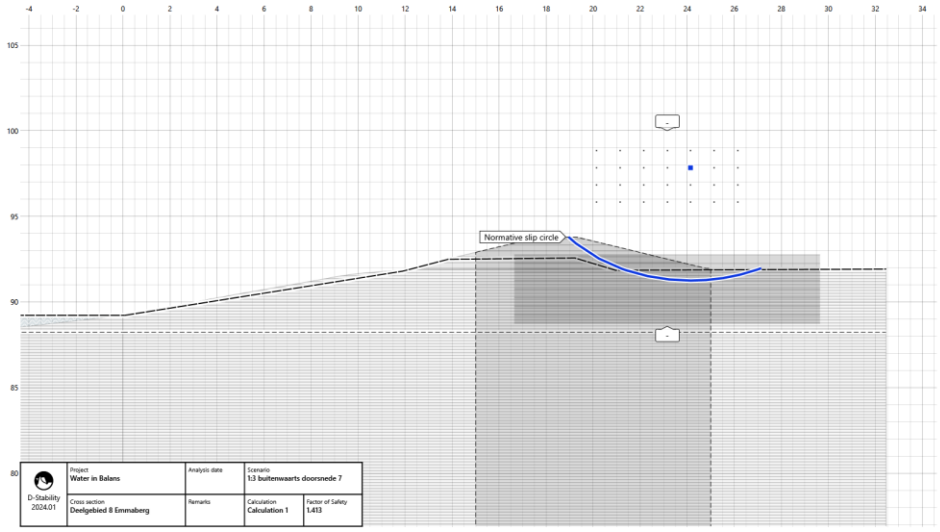
Figuur 6-14 Maatgevend glijvlak van de nieuwe kering, binnenwaartse stabiliteit (doorsnede 7), met φ = 30° en 1:3 talud



Figuur 6-15 Maatgevend glijvlak buitenwaartse stabiliteit onder dagelijkse omstandigheden (doorsnede 7)

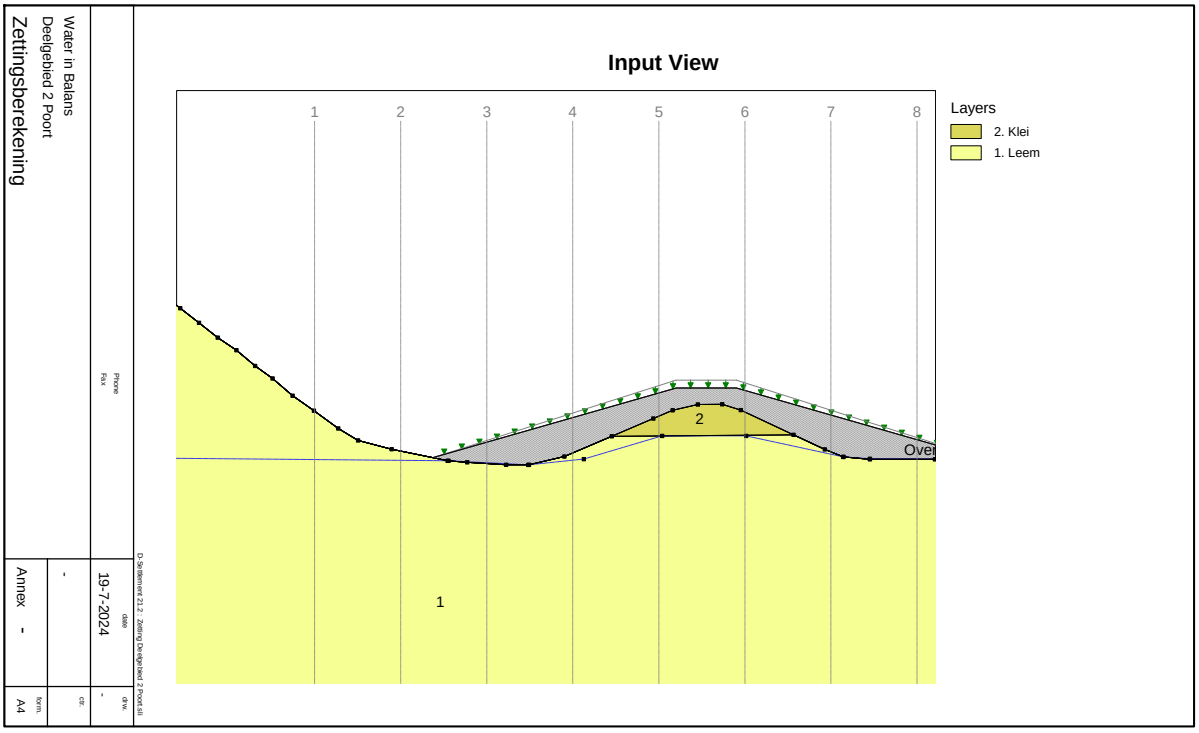


Figuur 6-16 Maatgevend glijvlak buitenwaartse stabiliteit onder dagelijkse omstandigheden (doorsnede 7), met φ = 30°



Figuur 6-17 Maatgevend glijvlak buitenwaartse stabiliteit onder dagelijkse omstandigheden (doorsnede 7), met 1:3 talud

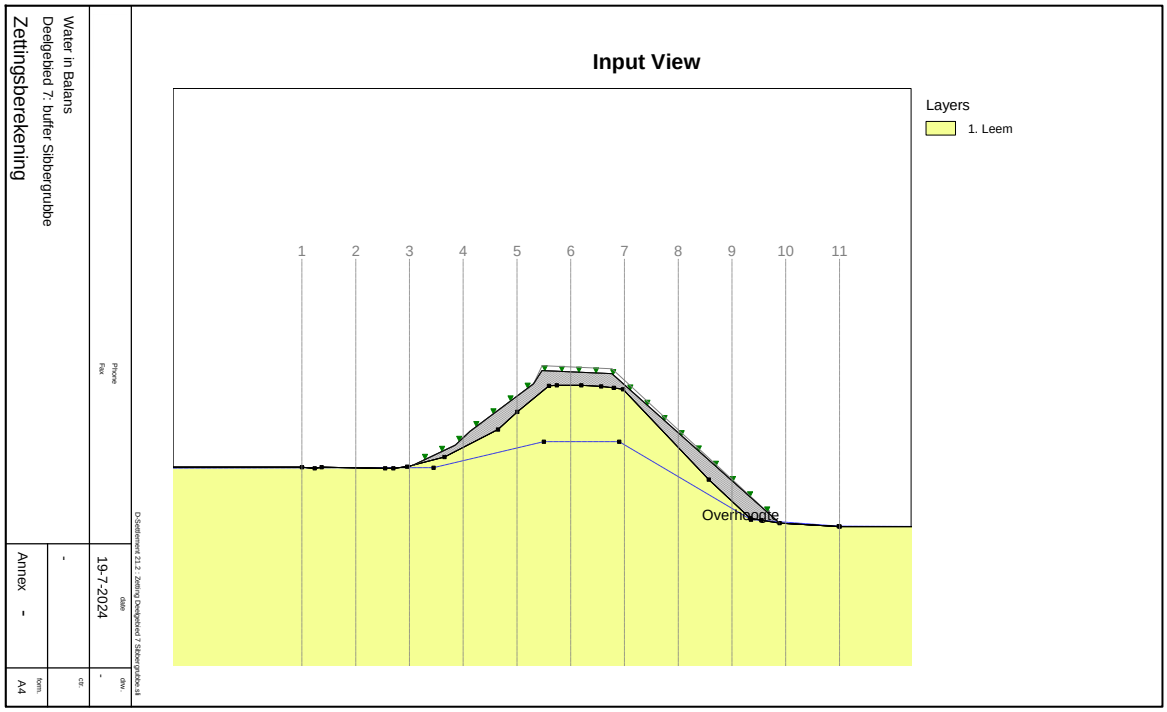
Bijlage 2 Resultaten zetting



Figuur 6-18 Overzicht zettingsberekening deelgebied 2: buffer Poort

Vertical number	X co-ordinate [m]	Z co-ordinate [m]	Surface level [m]	Settlement [m]
1	25,00	0,00	87,57	0,023
2	30,00	0,00	85,55	0,046
3	35,00	0,00	84,91	0,275
4	40,00	0,00	85,45	0,320
5	45,00	0,00	87,32	0,405
6	50,00	0,00	87,53	0,412
7	55,00	0,00	85,50	0,352
8	60,00	0,00	85,13	0,266
9	65,00	0,00	85,18	0,056
10	70,00	0,00	85,26	0,026

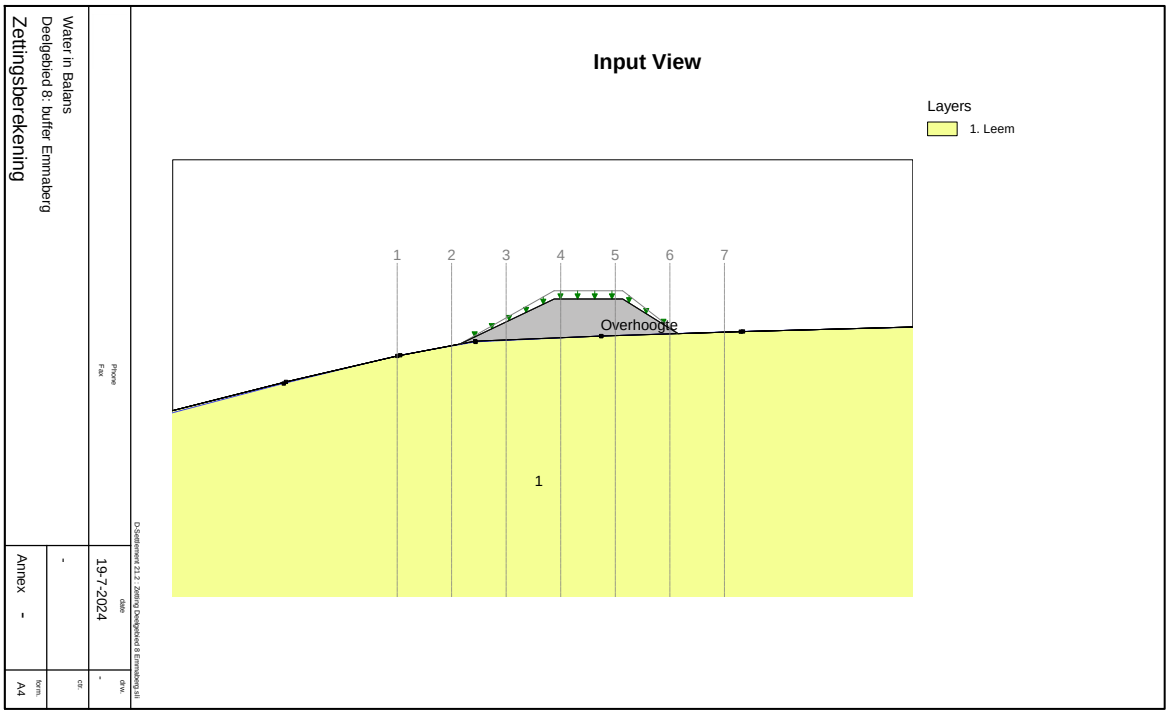
Figuur 6-19 Resultaten: zettingen per vertical voor deelgebied 2: buffer Poort



Figuur 6-20 Overzicht zettingsberekening deelgebied 7: buffer Sibbergrubbe

Vertical number	X co-ordinate [m]	Z co-ordinate [m]	Surface level [m]	Settlement [m]
1	0,00	0,00	83,48	0,019
2	2,00	0,00	83,47	0,024
3	4,00	0,00	83,50	0,032
4	6,00	0,00	83,89	0,068
5	8,00	0,00	84,61	0,082
6	10,00	0,00	85,15	0,080
7	12,00	0,00	85,04	0,070
8	14,00	0,00	83,88	0,084
9	16,00	0,00	82,78	0,101
10	18,00	0,00	82,33	0,050
11	20,00	0,00	82,27	0,028

Figuur 6-21 Resultaten: zettingen per vertical voor deelgebied 7: buffer Sibbergrubbe



Figuur 6-22 Overzicht zettingsberekening deelgebied 8: buffer Emmaberg

Vertical number	X co-ordinate [m]	Z co-ordinate [m]	Surface level [m]	Settlement [m]
1	10,00	0,00	91,66	0,026
2	12,00	0,00	92,04	0,055
3	14,00	0,00	92,25	0,181
4	16,00	0,00	92,33	0,248
5	18,00	0,00	92,41	0,239
6	20,00	0,00	92,47	0,132
7	22,00	0,00	92,53	0,034

Figuur 6-23 Resultaten: zettingen per vertical voor deelgebied 8: buffer Emmaberg