

Singelplan Woerden

Geotechnische analyse risico op afschuiven



Sweco Nederland B.V.

Onderwerp

Singelplan Woerden

Projectnummer

51017510-001

Klant

Gemeente Woerden

Datum

25-09-2023

Auteur

ir. Niels van Leeuwen

Document referentie

NL23-648800269-59935

Gecontroleerd door

.....
ir. Jeroen Hermans

Vrijgegeven door

.....
ir. Marc Everaars

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Zorgplicht gemeente.....	5
3	Uitgangspunten en randvoorwaarden	6
3.1	Algemeen	6
3.2	Geometrie.....	6
3.3	Bodemopbouw	7
3.4	Beschouwde variaties	9
4	Analyse.....	10
4.1	Veiligheid tegen afschuiven	10
4.2	Basissom.....	11
4.3	Gereduceerde belasting.....	11
4.4	Verhogen eigenschappen klei.....	12
4.5	Verhogen eigenschappen zand	12
4.6	Iteratief verhogen cohesie klei	13
5	Conclusie en advies	14
6	Referenties	15

1 Inleiding

De gemeente Woerden heeft Sweco opdracht gegeven voor aanvullende werkzaamheden met betrekking tot de bastions aan de Hogewal en Torenwal te Woerden.

Het gaat hier om het zo begrijpelijk mogelijk maken van de situatie en nut en noodzaak van een constructieve beschoeiing. Hiertoe is het voor de gemeente van belang inzicht te verkrijgen in de kans van afschuiven en de gevolgen van schade.

De Gemeente Woerden heeft behalve de verplichting te voldoen aan het Bouwbesluit ook een 'algemene' zorgplicht als overheid. In deze rapportage wordt getracht de relatie te leggen tussen de zorgplicht en de kans dat afschuiven van de bastions optreedt.

Om de kans op afschuiven te bepalen is een variantenanalyse opgesteld om inzicht te geven in dit risico. De resultaten zijn zoveel mogelijk visueel gepresenteerd om tevens inzicht te geven in de gevolgen van een afschuiving. Het betreft een geotechnisch rapport, waarvoor als basis de Eurocode (NEN 9997-1, 2017) wordt gebruikt. Om aan het bouwbesluit te voldoen dient het geotechnisch ontwerp te voldoen aan deze norm.

Het dient te worden opgemerkt dat geprobeerd is de complexe grondmechanica begrijpelijk te verwoorden voor mensen met beperkte kennis van grondmechanica, zoals beleidsbepalers, bestuurders raadsleden en overige geïnteresseerden. Hierdoor zijn sommige details versimpeld opgeschreven, waar experts mogelijk commentaar op hebben.

2 Zorgplicht gemeente

Voor het schrijven van dit hoofdstuk is een analyse van de gemeentebestuurder gebruikt om het verband tussen de technische analyse en de juridische grondslag te leggen. Vanuit de technische achtergrond van de schrijver van dit rapport kan Sweco niet verantwoordelijk worden gesteld van de juistheid van dit hoofdstuk.

De gemeente heeft buiten het Bouwbesluit ook een 'algemene' zorgplicht als overheid. De gemeente, als eigenaar en beheerder, dient ervoor te zorgen dat de openbare ruimte wordt onderhouden en veilig is.

Uit de eerdere rapportages van Sweco (2022) blijkt dat de constructie van het bastion niet voldoet aan het Bouwbesluit. Er is niet aangegeven in hoeverre er sprake is van instortingsgevaar. In dit rapport wordt daar wel een uitspraak over gedaan.

De gemeente heeft geen garantieverplichting dat de staat van de openbare ruimte altijd perfect en foutloos hoeft te zijn. Maar de gemeente heeft wel als eigenaar en beheerder van de openbare ruimte de verplichting om te waarschuwen als een situatie onveilig is.

De gemeenteraad zal moeten afwegen op grond van het onderzoek van Sweco of zij achten dat de kans dat het instortingsgevaar zich voordoet zo groot is dat er maatregelen getroffen dienen te worden. Daarnaast moet afgewogen worden welke financiële middelen er zijn en welke maatregelen daarmee kunnen worden getroffen. Dit alles dient duidelijk afgewogen te worden. Is er sprake van een eenvoudige en goedkope maatregel en de raad ziet af van het uitvoeren hiervan, dan zal dit beter onderbouwd moeten worden dan indien er sprake is van een zeer dure en complexe maatregel (beleidsvrijheid en de beperktheid van financiële middelen).

3 Uitgangspunten en randvoorwaarden

3.1 Algemeen

De gehanteerde uitgangspunten en randvoorwaarden zijn in overeenstemming met het voorgaande rapport van Sweco (Sweco, 2022). De meest belangrijke uitgangspunten voor de variantenstudie zijn hier herhaald.

3.2 Geometrie

In de dimensionering van de grondkeringen (Sweco, 2022) zijn vier deelgebieden onderscheiden, Figuur 3-1:

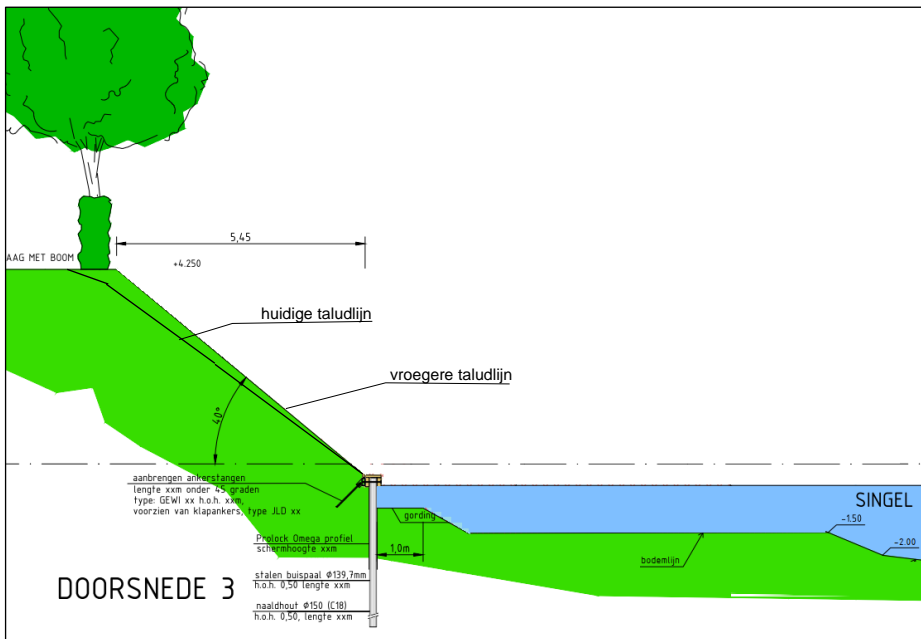
1. een klein deelgebied aan de randen van het gebied (blauw). Hiervoor is een lichte, onverankerde constructie gedimensioneerd.
2. de punten van de bastions (rood), die significant worden aangevuld met grond, om de vorm te herstellen. De constructie komt hierdoor relatief ver in de singel te liggen, waardoor een zware verankerde constructie is gedimensioneerd.
3. De rest van de Torenwal (geel).
4. De rest van de Hogewal (paars).



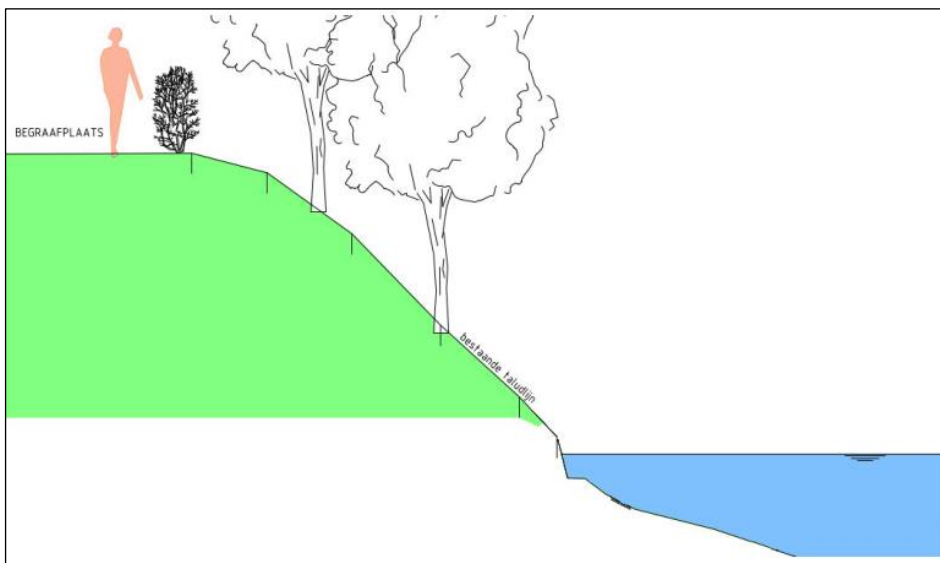
Figuur 3-1 Onderscheiden gebieden (rood, paars, geel en blauw)

De gebieden 3 en 4 zijn het grootst en worden in voorliggend document nader beschouwd. Voor de Torenwal is het representatief profiel weergegeven in Figuur 3-2 en voor de Hogewal in Figuur 3-3.

Uit de dimensionering van de grondkeringen (Sweco, 2022) valt dat er weinig verschil zit tussen de benodigde grondkeringen binnen een deelgebied. Op basis hiervan ligt het in lijn der verwachting dat de veiligheid tegen afschuiven binnen een deelgebied ook weinig varieert.



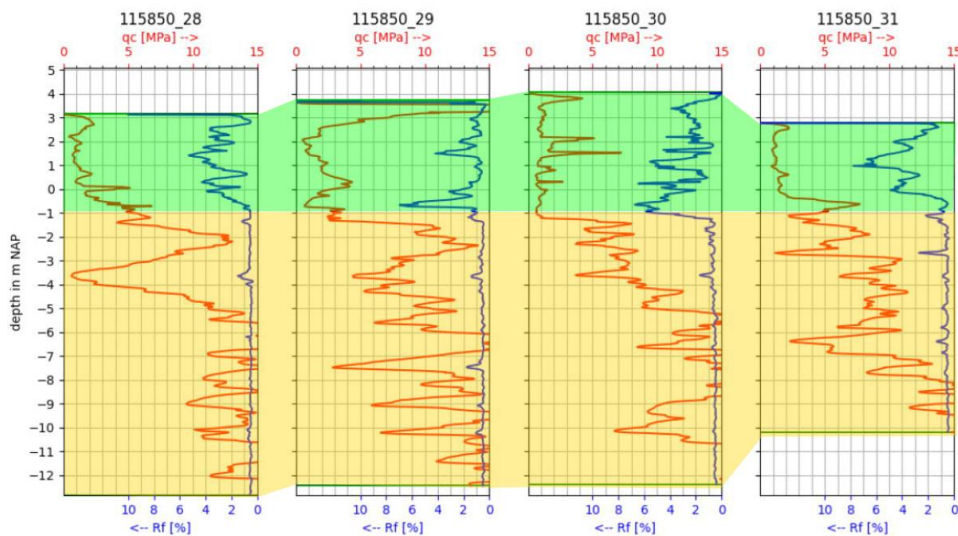
Figuur 3-2 Representatief profiel Torenwal



Figuur 3-3 Representatief profiel Hogewal

3.3 Bodemopbouw

De beschikbare sonderingen zijn weergegeven in Figuur 3-4. Bij een sondering wordt een conus met een stang in de grond wordt geduwd. Hoe meer weerstand de conus ondervindt des te sterker is de grond. Daarnaast wordt de wrijving langs de conus gemeten.



Figuur 3-4 Beschikbare sonderingen met in groen de geschematiseerde kleilaag en in geel de geschematiseerde zandlaag

Met de conusweerstand en gemeten wrijving kan de geotechnisch adviseur inschattingen maken van het type grond en de bijbehorende eigenschappen van de ondergrond. Ook de Eurocode voor geotechniek (NEN 9997-1, 2017) gebruikt de gemeten conuswaarden om voor te schrijven welke grondeigenschap mogen worden gebruikt.

Aan de hand van deze Eurocode is de ondergrond in voorgaande rapportages geclassificeerd en zijn veilige lage grondeigenschappen toegekend, zoals voorgeschreven door dezelfde Eurocode. De Eurocode geeft naast veilige lage waarden ook hoge waarden van de grondeigenschappen, voor het geval hoge grondeigenschappen maatgevend zijn. Op basis van deze range tussen lage en hoge grondeigenschappen, zie Tabel 3-1, is een variantenanalyse uitgevoerd om inzicht te geven in de kans op afschuiven.

Tabel 3-1 Variatie grondeigenschappen op basis van Eurocode

Grondlaag	Lage grondeigenschappen			Hoge grondeigenschappen		
	γ [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	φ' [°]	γ [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	φ' [°]
Klei, zandig	18	5	22,5	20	13	22,5
Zand	20	0	30	20	0	32,5

Waarin:

γ	volumegewicht;
c'	effectieve cohesie;
φ'	effectieve hoek van inwendige wrijving.

De eigenschappen hebben betrekking op de sterkte van de ondergrond en zijn hier volledigheidshalve opgenomen. De uitleg van de invloed van de eigenschappen op de veiligheid tegen afschuiven gaat hier wat ver, maar een hoge waarde voor c' en φ' is gunstig. De invloed van het volumegewicht is afhankelijk per situatie.

3.4 Beschouwde variaties

Zoals in de voorgaande paragrafen aangegeven wordt voor de beschouwde profielen van de Torenwal en Hogewal gevarieerd in de grondeigenschappen. Het doel hiervan is om een eerste inzicht te geven in de gevoeligheid van de desbetreffende eigenschap om te verkennen hoe conservatief, oftewel voorzichtig, de berekeningen zijn ingestoken.

Naast variatie in de grondeigenschappen wordt gekeken naar de invloed van een bovenbelasting in de berekeningen. Voor zowel de Hogewal als de Torenwal worden de varianten conform Tabel 3-2 beschouwd. Hierbij is de basissom gelijk aan de uitgangspunten conform voorgaande rapportage, zoals voorgeschreven in de Normen.

Tabel 3-2 Beschouwde varianten

Variant	Eigenschappen klei	Eigenschappen zand	Bovenbelasting
Basissom	Laag	Laag	Uniform
1	Laag	Laag	2,5 m breedte
2	Hoog	Laag	Uniform
3	Laag	Hoog	Uniform
4	Iteratieve waarde*	Laag	Uniform

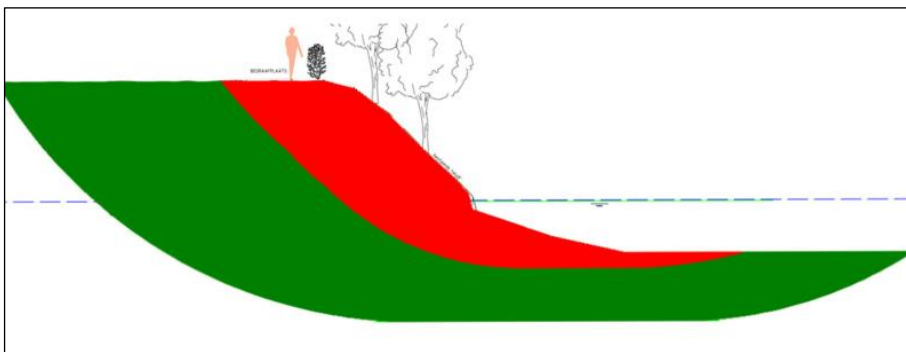
Voor variant 4 is alleen de cohesie van de zandige kleilaag aangepast, dusdanig dat de veiligheid tegen afschuiven gelijk is aan $FS \geq 1,00$.

4 Analyse

4.1 Veiligheid tegen afschuiven

Een afschuiving wordt gevormd door een cirkelvormig glijvlak (=glijcirkel), zie Figuur 4-1. Het gewicht van de grond en eventueel aanwezige bovenbelasting wil afschuiven door zwaartekracht, terwijl de wrijving langs de grond zorgt voor weerstand.

De wrijving dient groter te zijn dan de belasting om afschuiven te voorkomen. In de geotechniek is het gebruikelijk om de wrijving te delen door de belasting, waarmee de veiligheidsfactor (FS) wordt verkregen die groter dient te zijn dan $FS \geq 1,00$.



Figuur 4-1 Voorbeeld van een cirkelvormig glijvlak in het scheidingsvlak tussen rood en groen

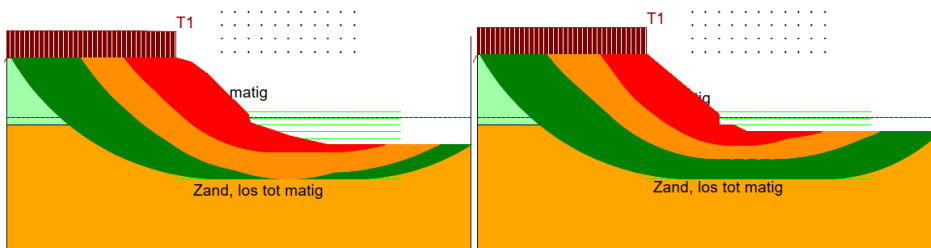
Er wordt gebruik gemaakt van een computerprogramma, waarmee ruim 1.300 glijcirkels per variant worden berekend. Het programma presenteert vervolgens de glijcirkel met de laagste veiligheid tegen afschuiven, dus de ongunstigste situatie. Daarnaast wordt een overzicht gegeven met in het rood een zone waarin de veiligheid tegen afschuiven onvoldoende is en dus een potentiële kans bestaat dat de grond afschuift.

In navolgende paragrafen wordt per variant een overzicht gegeven van deze rode zones met een potentieel glijvlak. De oranje zones hebben voldoende veiligheid tegen afschuiven op afkeurniveau, maar zouden niet voldoen in geval van een nieuw ontwerp. De groene zones voldoen aan de veiligheid tegen afschuiven conform de veiligheidsfilosofie van de Eurocode voor nieuwbouw (NEN 9997-1, 2017)).

Met de gevoeligheidsanalyse wordt met parameters gevarieerd om een gevoel te krijgen bij het principe 'bewezen sterkte'. De maatgevende situatie die in het verleden is opgetreden, was onvoldoende om te leiden tot significant falen van het bastion. Het is echter niet uitgesloten dat in de toekomst een meer maatgevende situatie optreedt, bijvoorbeeld door hevige regenval, of dat door het afkalven van de bastions de maatgevende situatie uit het verleden in de toekomst wel tot falen leidt. Zeker gezien het feit dat er ten gevolge van de klimaatveranderingen meer weersextremen, zoals zware stormen, optreden. Vernatting en verdroging van de taluds hebben invloed op de stabiliteit.

4.2 Basissom

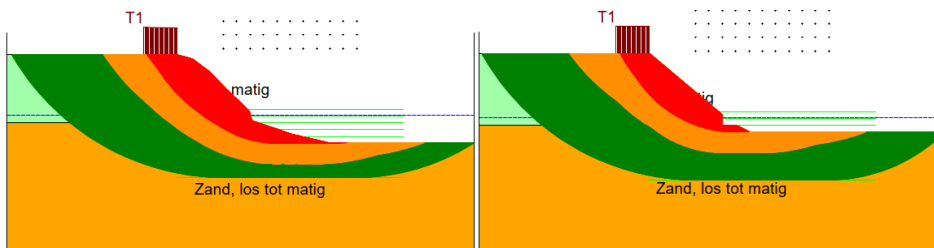
Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 is de basissom op basis van de Norm, waarna het Bouwbesluit refereert. Dit betekent dat er gerekend dient te worden met lage grondeigenschappen. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 4-2.



Figuur 4-2 Veiligheidszones afkeurniveau links Hogewal, rechts Torenwal met in de rode zones onvoldoende veiligheid tegen afschuiven.

4.3 Gereduceerde belasting

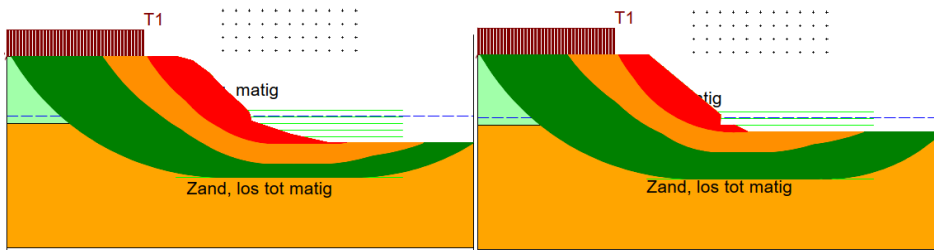
De veiligheid tegen afschuiven is beschouwd met een gereduceerde breedte van 2,5 m van de bovenbelasting. Immers is de kans beperkt dat er over een groot deel van de Torenwal of Hogewal gelijktijdig een bovenbelasting aanwezig is. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 4-3.



Figuur 4-3 Veiligheidszones met gereduceerde belastingen

Uit Figuur 4-3 volgt dat de breedte van de onveilige zone circa 2,5 m bedraagt vanaf de rand van het talud. Dit is iets smaller dan de basissom, maar de invloed van een kleinere breedte van de bovenbelasting lijkt beperkt.

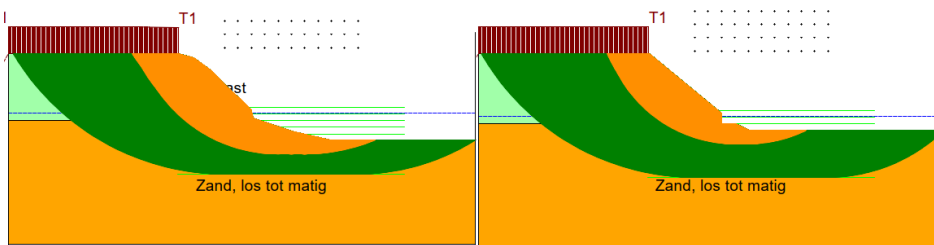
In Figuur 4-4 zijn de resultaten gegeven voor het geval er geen bovenbelasting wordt toegestaan in de eerste 2,5 m vanaf de rand van het talud. Hieruit volgt dat dit de veiligheidszones niet significant beïnvloedt en de bovenbelasting dus geen significante invloed heeft op de veiligheidszones.



Figuur 4-4 Veiligheidszone met belasting op 2,5 m afstand van het talud

4.4 Verhogen eigenschappen klei

De veiligheid tegen afschuiven is beschouwd met hoge eigenschappen van klei. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 4-5.

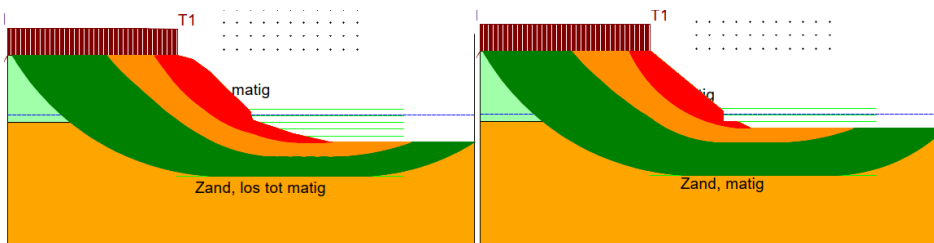


Figuur 4-5 Veiligheidszones met hoge waarden voor de klei

Uit Figuur 4-5 volgt dat er geen rode zones zijn en de constructie voldoet qua veiligheid, indien aan de kleilaag hoge sterkte-eigenschappen worden toegekend. De kans dat deze eigenschappen ook daadwerkelijk aanwezig zijn is klein (5%).

4.5 Verhogen eigenschappen zand

De veiligheid tegen afschuiven is beschouwd met hoge eigenschappen van zand. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 4-6.



Figuur 4-6 Veiligheidszones met hoge waarden voor zand

Uit Figuur 4-6 volgt dat het verhogen van de sterkte van het zand de rode zones iets kleiner maakt in vergelijking met de basissom, maar slechts in geringe mate. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de sterkte van het zand geen significante invloed heeft op de veiligheidszones.

4.6 Iteratief verhogen cohesie klei

Op basis van de voorgaande analyses volgt dat de eigenschappen van de kleilaag de grootste invloed hebben op de veiligheidszones.

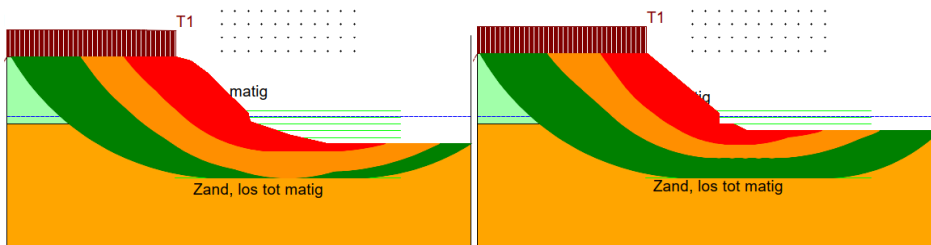
Er is middels trial & error bepaald welke sterkte de kleilaag minimaal moet hebben voor een veilige grondconstructie (geen rode zones). In dit geval wordt de sterkte bepaald door de cohesie. Uit de analyse volgt een minimale waarde van $c' = 6,5 \text{ kN/m}^2$ voor de Hogewal en $c' = 6,0 \text{ kN/m}^2$ voor de Torenwal, waarbij een minimale veiligheid tegen afschuiven wordt gevonden van $FS \geq 1,00$.

In geval van een cohesie van $c' = 6,0 \text{ kN/m}^2$ à $c' = 6,5 \text{ kN/m}^2$ is kans op een zwakkere ondergrond en dus de kans op bezwijken circa 10% à 15%. Dit is 2x à 3x hoger dan de 5% die staat voorgeschreven in de Norm, waar het Bouwbesluit naar refereert.

5 Conclusie en advies

De gemeenteraad zal moeten afwegen op grond van het onderzoek van Sweco of zij achten dat de kans dat het instortingsgevaar zich voordoet zo groot is dat er maatregelen getroffen dienen te worden. Dit moet worden afgewogen tegen de te maken realisatiekosten.

Om deze afweging te maken is een variantenanalyse uitgevoerd om inzicht te geven in het risico van een afschuiving ter plaatse van de Hogewal en Torenwal met uitzondering van de “punten”. Uit de analyse volgt dat de invloedzone van een afschuiving zich beperkt tot circa 3 m uit het talud. Voor deze invloedzones, wat in het rapport in figuren is weergegeven als rode zones, bestaat het risico dat de grond in het water schuift. Uiteraard is dit zeer onwenselijk als er zich bijvoorbeeld mensen op bevinden of graven aanwezig zijn.



Een bestaande constructie dient volgens de Norm, waar in het Bouwbesluit naar wordt verwezen, te worden afgekeurd en te worden aangemerkt als onveilig, indien de kans op afschuiven groter is dan 5%. Op basis van de variantenanalyse wordt geconcludeerd dat de kans op afschuiven circa 10% à 15% bedraagt voor respectievelijk de Torenwal en Hogewal. De kans op afschuiven is dus circa 2x à 3x groter dan vereist.

Het dient te worden opgemerkt dat ter plaatse van de “punten” van de bastions meer erosie is opgetreden en de veiligheid tegen afschuiven naar verwachting slechter is.

Om te voldoen aan het Bouwbesluit kunnen de constructies worden aangebracht, zoals gedimensioneerd in eerdere documenten. De kans op bezwijken is dan veel kleiner dan 5% (circa 0,1%), omdat bij Nieuwbouw zwaardere eisen gelden.

6 Referenties

NEN 9997-1+C2 (2017), “Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels”, Nederlands Normalisatie Instituut, november 2017

Sweco (2022), “Notitie – Constructieve beschouwing huidige situatie Torenwal/Hogewal”, documentnummer NL23-6488000269-57526, versie D2.0, 18-08-2022