



Wiertsema & Partners

RAADGEVEND INGENIEURS

Stabiliteitsanalyse talud stortfront

Herinrichting zandwinlocatie De Moere te Grolloo

VN-87987-1 | Versie 2 | 11 juni 2025



Grondonderzoek



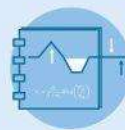
Geotechnisch
Laboratorium



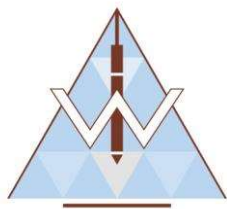
Geomonitoring



GeolCT



Advies



Raadgevend Ingenieursbureau
Wiertsema & Partners B.V.
Feithspark 6, 9356 BZ Tolbert
Postbus 27, 9356 ZG Tolbert
Tel.: 0594 51 68 64
E-mail: info@wiertsema.nl
Internet: www.wiertsema.nl

Project: Herinrichting Zandwinlocatie De Moere te Grolloo
Onderwerp: Stabiliteitsanalyse talud stortfront
Projectnummer: VN-87987-1

Opdrachtgever: Staatsbosbeheer
Contactpersoon: mevrouw G. van Horssen

Versie	Datum	Omschrijving wijziging
1	7 mei 2025	
2	11 juni 2025	Frequentie peilingen in hoofdstuk 5

Opgesteld door:	ing. F. Geertsma
Handtekening:	
Documentnummer:	R103218
Status:	Definitief
Vrijgegeven door:	A.T. van Dijk



Inhoudsopgave

blad

1	Inleiding.....	4
1.1	Aanleiding en doel	4
1.2	Referenties	4
1.3	Normen en richtlijnen	4
1.4	Kwaliteitswaarborging	5
1.5	Projectomschrijving	5
2	Bodemopbouw.....	6
2.1	Grond- en laboratoriumonderzoek	6
2.2	Bodembeschrijving	6
2.3	Grondparameters	7
3	Uitgangspunten.....	9
3.1	Veiligheidsklasse	9
3.2	Grondwaterstand.....	9
3.3	Terreinbelastingen	9
3.4	Trillingen	9
3.5	Gebruikte software en berekeningsmethode.....	9
3.6	Grondparameters	10
3.7	Eisen en randvoorwaarden	10
4	Stabiliteit	11
4.1	Stabiliteit uitvoeringsfase	11
4.2	Bepaling benodigd talud.....	13
4.3	Aanbevelingen CUR 113	14
5	Conclusies en aanbevelingen.....	15
5.1	Conclusies	15
5.2	Aanbevelingen	15



1 Inleiding

In opdracht van Staatsbosbeheer te Deventer heeft Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners B.V. een geotechnisch stabiliteitsanalyse opgesteld ten behoeve van de inrichting van de Zandwinlocatie De Moere te Grolloo.

1.1 Aanleiding en doel

De zandwinning uit de zandwinlocatie De Moere nabij Grolloo (in beheer bij Staatsbosbeheer) is in de jaren 90 van de vorige eeuw gestopt. Tussen 2005 tot circa 2020 is de zandwinlocatie verondiept door vanaf de oever grond te storten. De grond heeft bestaan uit zand, zandig silt (leem), zandige klei en veen. Het storten heeft plaats gevonden vanaf de noord- en oostzijde van de zandwinplas.

De zandwinlocatie dient te worden heringericht. In het verleden is een plan gemaakt om de herinrichting in den droge uit te voeren. Er is nu besloten om de herinrichting in den natte uit te voeren. Er is een nieuw ontwerp gemaakt. De vraag is of de huidige taluds en dan met name aan het stortfront aan de oostzijde stabiel genoeg zijn voor het nieuwe ontwerp.

Het betreft een voormalige zandwinput. Voor de toetsing van de taludstabiliteit en risico op verwekings- en bresvloeiing in de winfase van zand wordt de CUR-Aanbeveling 113 (ref. [6]) als richtlijn gebruikt. In deze richtlijn wordt ook aandacht besteedt aan het terugstorten van grond. Ten aanzien van terugstorten wordt ingegaan op risico's ten aanzien van taludstabiliteit, verwekings- en bresvloeiing en begeleiding en benodigde activiteiten tijdens het terugstorten. Een veiligheidsbeschouwing op het risico van verwekings- en bresvloeiing volgens de CUR 113 valt buiten de offerte en is daarom niet uitgevoerd. In hoofdstuk 4 zal op de begeleidende activiteiten worden teruggekomen.

Het doel van dit advies is inzicht te geven in de stabiliteit van het talud langs te stortfront.

1.2 Referenties

De volgende gegevens en/of rapportages zijn gebruikt voor de berekening:

- [1] Email van Geny van Horssen (Staatsbosbeheer) d.d. 16 januari 2025;
- [2] 'Loding zandwinlocatie De Moere, Grolloo' blad 1 en 2 van Pro-ling ingenieurs met referentie 20.160_ENV_T_20201215_0180 d.d. 15 december 2020;
- [3] 'Milieuhygienisch bodemonderzoek De Grote Moere te Grolloo' van Tauw met kenmerk R001-1295963WDO-V03-mwl-NL, d.d. 29 november 2025.

1.3 Normen en richtlijnen

De volgende Normen en Richtlijnen zijn van toepassing voor de berekening:

- [4] NEN 9997-1+C2:2017 Geotechnisch ontwerp van Constructies – Deel 1: Algemene regels, november 2017, NEN;
- [5] Rapport 162:2022, Handboek Construeren met grond, printdatum 14-11-2022, CROW-CUR.
- [6] CUR-Aanbeveling 113, Oeverstabiliteit bij zandwinputten, 2008, CUR Bouw & Infra.

In het rapport zal middels vierkante haken [] worden verwezen naar de genoemde rapporten, referenties en richtlijnen.

1.4 Kwaliteitswaarborging

De werkzaamheden zijn verricht onder ons kwaliteitssysteem NEN-EN-ISO-9001 en ons milieumanagementsysteem NEN-EN-ISO-14001. Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners B.V. is in het bezit van een V&G-beheersysteem VCA** en Veiligheidsladder trede 3.

1.5 Projectomschrijving

De zandwinlocatie De Moere ligt ten oosten van Grolloo (zie Figuur 1.1)



Figuur 1.1 Projectlocatie

Een tekening van de herinrichting is ten tijde van het opstellen van dit rapport niet beschikbaar of is dermate concept dat de invulling nog sterk kan wijzigen. Dat hangt mede af van de uitkomsten van dit rapport. Het project omvat de herinrichting van de zandwinlocatie de Grote Moere. Onderdeel van de herinrichting is het storten van grond in de zandwinlocatie ter afwerking van de onderwatertaluds.

2 Bodemopbouw

2.1 Grond- en laboratoriumonderzoek

Tauw heeft in het kader van milieuwetgeving grondonderzoek uitgevoerd bestaande uit 61 boringen tot een diepte van 0,5 tot 17 m-maaiveld (zie ref. [3]). De boringen die van belang zijn voor de stabiliteitsanalyse zijn de boringen B1 t/m B6. Deze boringen zijn uitgevoerd tot een diepte van ca 17 m-maaiveld. Uitgaande van een maaiveld van rond de NAP +16,8 m (op basis van de AHN) ligt de onderkant boringen globaal op NAP 0,0 m.

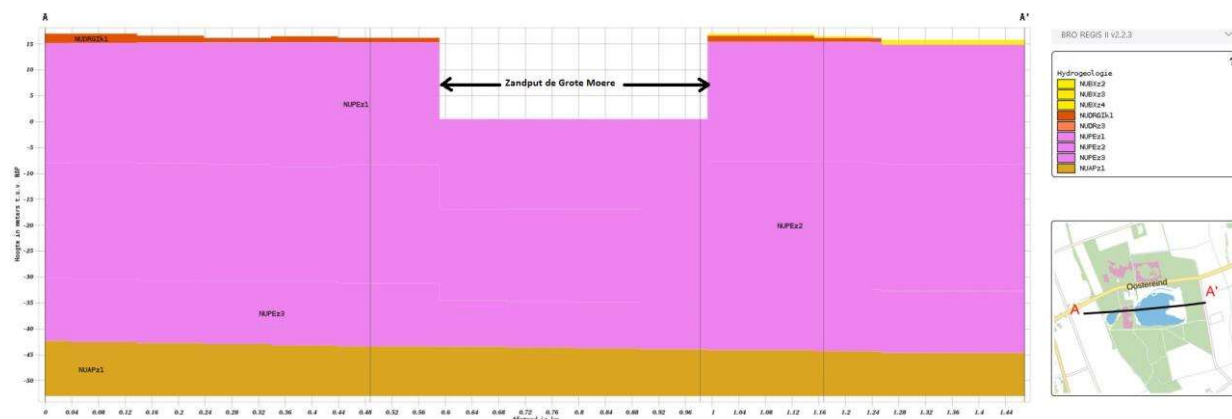
2.2 Bodembeschrijving

De maaiveldhoogte ter plaatse van de onderzoekspunten varieerde ten tijde van het grondonderzoek globaal van NAP +16,0 tot +17,0 m.

De boringen zijn uitgevoerd in gestorte grond. De los gestorte grond bestaat voornamelijk uit siltig zand, zandige silt (leem), zandige klei en plaatselijk veenlagen. Globaal ligt de bodem van de Grote Moere op NAP +2,5 m. De diepste delen (noordwestzijde) reiken tot een diepte van ca. NAP -1,1 m. Er is vanuit gegaan dat de zandwinning ook tot deze dieptes heeft plaats gevonden. Op basis van voorkomen van verontreinigingen in de boringen lijkt de onderkant van de zandwinning te liggen tussen NAP +0,0 en +5,0 m.

Voor een toetsing van de stabiliteit is het noodzakelijk om de bodemopbouw tot 1/3 tot de helft van de putdiepte beneden de putbodembodem inzichtelijk te hebben. Dit houdt in dat de bodemopbouw tot minimaal $\text{NAP } -1,1 - (16,8 - (-1,1)) / 3 \approx \text{NAP } -7,0 \text{ m}$ bekend moet zijn. Voor het deel dieper dan NAP 0,0 m is Dinoloket geraadpleegd.

Er is vanuit gegaan dat globaal vanaf NAP +0,00 m en dieper de oorspronkelijke grondslag nog aanwezig is. Uit het ondergrondmodel REGIS II v2.2.3 blijkt dat de oorspronkelijke grondslag (zand behorende tot de formatie van Peelo) minimaal doorgaat tot ca. NAP -42 m.



Figuur 2.1 Geologische doorsnede van west naar oost o.b.v. REGIS II

De actuele grondwaterstand werd begin september 2024 vastgesteld op een niveau van 2 à 2,5 m–maaiveld (wat overeenkomt met een niveau van ongeveer N.A.P. +14,8 m). Deze waarneming is een momentopname en zegt niets over het verloop van de grondwaterstand over een langere periode.

2.3 Grondparameters

Voor de grondparameters voor de oorspronkelijke grondlagen is uitgegaan van zand matig vast. Het gestorte materiaal bestaat voornamelijk uit een sterk gelaagd profiel zwak siltig zand, zandige silt met plaatselijk klei- en veenlagen. Omdat het gestort is, is de grond zeer inhomogeen. De vastheid is niet vastgesteld middels sonderingen omdat de verwachting is dat de variatie in grondslag zeer sterk varieert per locatie en diepte.

Inschatting sterkte-eigenschappen gestort materiaal

De ingang voor tabel 2.b uit de NEN-9997-1 is gebaseerd op ongestoorde (vaste) grond, terwijl we hier te maken hebben met gestorte grond. De sterkte-eigenschappen zijn daarom conservatief ingeschat. Het gestorte materiaal is ‘over de rand’ het water in gestort/geschoven. Het is dus los materiaal. Het onderwatertalud kan daarom worden gezien als talud met de maximale helling onder normale natuurlijke omstandigheden, zonder veiligheid. Bij de geringste belasting kan het talud afschuiven. De huidige gradiënt van het talud is daarmee de maximale helling zonder veiligheid. Het talud bij profiel 1 heeft een helling in het bovenste deel van 1:3. Dit komt overeen met een hoek van 20°. Er zijn ook delen waar het talud steiler is. De representatieve waarde voor de hoek van inwendige wrijving ϕ' is daarom op 20° aangehouden. Er is geen rekening gehouden met cohesie omdat het een mengsel is van zand, leem, klei en sporadisch veen.

De toplaag van 1 à 2 m zal als gevolg van het rijdend aannemersmaterieel enigszins zijn verdicht. Omdat dit niet meetbaar is, is dit niet in de modellering meegenomen.

Het volumegewicht van de gestorte grond zal zowel in het horizontale als verticale vlak variëren door de sterke variatie in gestorte grond. Het volumegewicht van het gestort materiaal is daarom niet middels ongeroerde grondmonsters bepaald. Het volumegewicht heeft wel invloed op de stabiliteit. Er is daarom een beperkte gevoeligheidsanalyse (voor profiel 1) gedaan naar de invloed van het volumegewicht op de stabiliteit. Er zijn stabiliteitsberekeningen gemaakt met een volumegewicht onder water van 17 en 19 kN/m³.

Tabel 2.1 Gevoeligheidsanalyse stabiliteit versus volumegewicht gestort materiaal

$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	F _{min} [-]
15 / 17	0,87
17 / 19	0,88

Hierin is: $\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ volumiek gewicht van resp. vochtige grond en verzadigde grond;
F_{min} stabiliteitsfactor;

Conclusie is dat het volumegewicht in dit geval minimaal is. Er is voor gekozen om het volumegewicht van 17 / 19 kN/m³ te hanteren omdat het gestorte materiaal voornamelijk bestaat uit zand en leem.

In tabel 2.2 zijn de representatieve grondparameters beschreven.

Tabel 2.2 Gehanteerd bodemprofiel met representatieve grondparameters

Grondsoort	$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]
Gestort materiaal	17 / 19	20,0	0
Zand, m. vast (zand van Peelo)	18 / 20	32,5	0

Hierin is: $\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ volumiek gewicht van resp. vochtige grond en verzadigde grond;
 ϕ' effectieve hoek van inwendige wrijving;
 c' effectieve cohesie;

Door belasting en aging (veroudering) van grond zal de sterkte van het gestorte materiaal toenemen. Over verhoging van de sterkteparameters door aging is geen uitspraak te doen.

De hoek van inwendige wrijving geldt voor gemengde grond zoals nu volgens de boringen aanwezig is. Indien andere materialen worden toegepast zal rekening moeten worden gehouden met aangepaste waarden. Bij het storten van alleen zand kan een taludhelling onder water ontstaan van 1:4 tot 1:10 en mogelijk zelfs flauwer.

3 Uitgangspunten

3.1 Veiligheidsklasse

De uitvoerings- en gebruiksfase na herinrichting van de zandwinplas De Grote Moere, zijn ingedeeld in veiligheidsklasse RC1.

3.2 Grondwaterstand

De waterstand in De Grote Moere is aangehouden op NAP +15,0 m (conform meting tijdens peiling 15-12-2020).

3.3 Terreinbelastingen

In de stabiliteitsberekeningen is voor de uitvoeringsfase een bovenbelasting van 10 kN/m² (aannemersmaterieel langs de oever meegenomen met een breedte van 10 m op een afstand minimaal 0,50 m uit boveninsteek van het talud).

Bij de berekening van de stabiliteit moet de veranderlijke verkeersbelasting in RC1 nog worden vermenigvuldigd met $\gamma_Q = 1,3 * 0,9$ (zie tabel A.3 van NEN 9997-1). De rekenwaarde voor de verkeersbelasting wordt dan $10 * 1,3 * 0,9 = 11,7$ kN/m².

Voor de gebruiksfase is uitgegaan van licht onderhoudsmaterieel en beperkte opslag op de oever van 5 kN/m². De rekenwaarde wordt dan $5 * 1,3 * 0,9 = 5,85$ kN/m².

Er is geen rekening gehouden met zanddepots of opslag van materialen anderszins op minder dan 20 m (globaal de waterdiepte) uit de boveninsteek van de plas.

3.4 Trillingen

Trillingen kunnen een initiator zijn voor afschuivingen. Trilling door de ondergrond ontstaan bijvoorbeeld door bouwactiviteiten zoals heien. Er is geen rekening gehouden met trillingen als gevolg van heien. Indien er heiwerkzaamheden op korte afstand (denk aan minder dan 50 m van de oever) worden uitgevoerd dient een aanvullend advies te worden opgesteld.

3.5 Gebruikte software en berekeningsmethode

De stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd met D-Geo Stability versie 18.2 waarbij gebruik is gemaakt van de berekening volgens de lamellen-methode van Bishop.

3.6 Grondparameters

De stabiliteit van de grondconstructie is berekend met rekenwaarden van de grondparameters (zie tabel 3.1).

Tabel 3.1 Rekenwaarden grondparameters conform NEN 9997-1

Grondsoort	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	Representatieve waarden			Rekenwaarden RC1		
		ϕ'_{rep} [°]	c_{rep}' [kN/m ²]	$c_{u;\text{rep}}$ [kN/m ²]	ϕ'_d [°]	c_d' [kN/m ²]	$c_{u;d}$ [kN/m ²]
Gestort materiaal	17 / 19	20,0	0	-	16,9	0	-
Zand, m. vast	18 / 20	32,5	0	-	28,0	0	-

3.7 Eisen en randvoorwaarden

De volgende eisen worden gesteld:

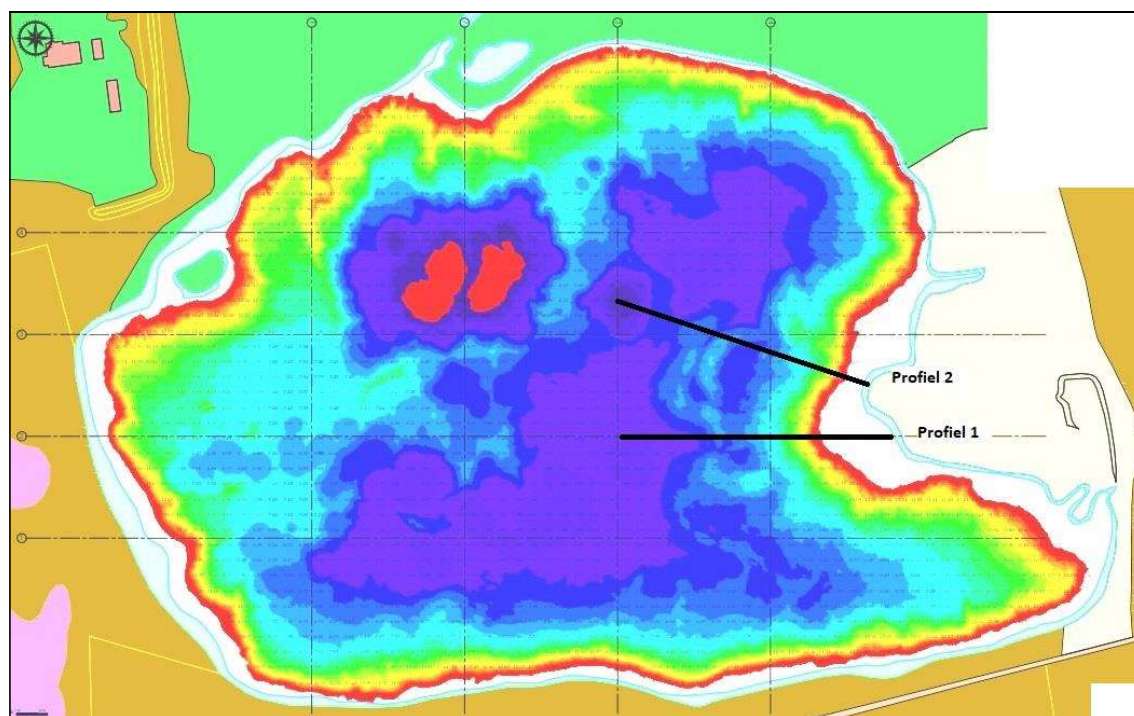
- De constructie is stabiel indien de rekenwaarde van de weerstand R_d groter of gelijk is aan de rekenwaarde van de belasting E_d (zie NEN 9997-1 §2.4.7.3.1)

Dit wordt door D-Geo Stability uitgedrukt in een Safetyfactor = $\frac{R_d}{E_d} \geq 1,0$

4 Stabiliteit

4.1 Stabiliteit uitvoeringsfase

De stabiliteit voor de uitvoeringsfase is beschouwd voor 2 profielen haaks op het stortfront aan de oostzijde van de plas. Voor de uitvoeringsfase is uitgegaan van de huidige situatie omdat deze maatgevend is. Als er zand of andere grond wordt bijgestort zal de taludhelling flauwer en daarmee stabielere worden.



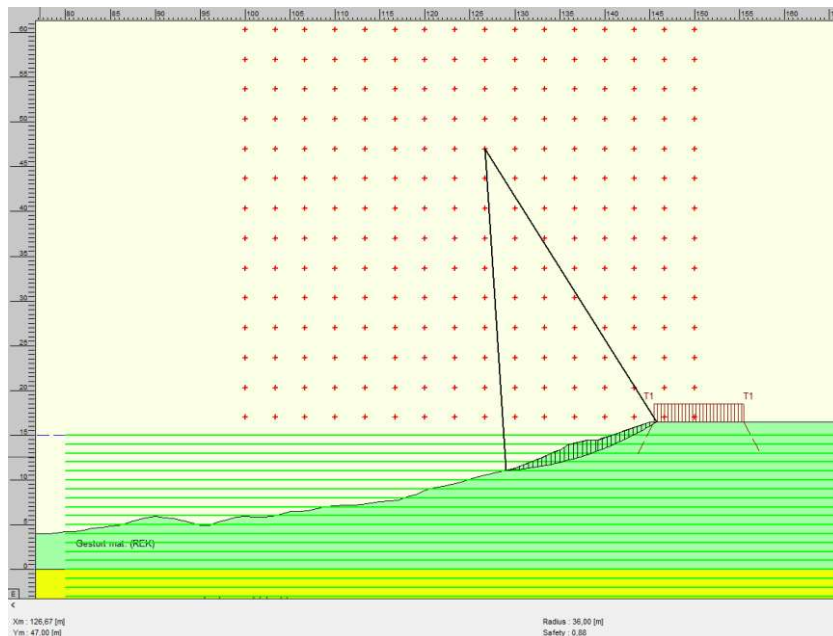
Figuur 4.1 Situatie met profielen

De resultaten van de stabiliteitsberekeningen zijn samengevat in tabel 4.1:

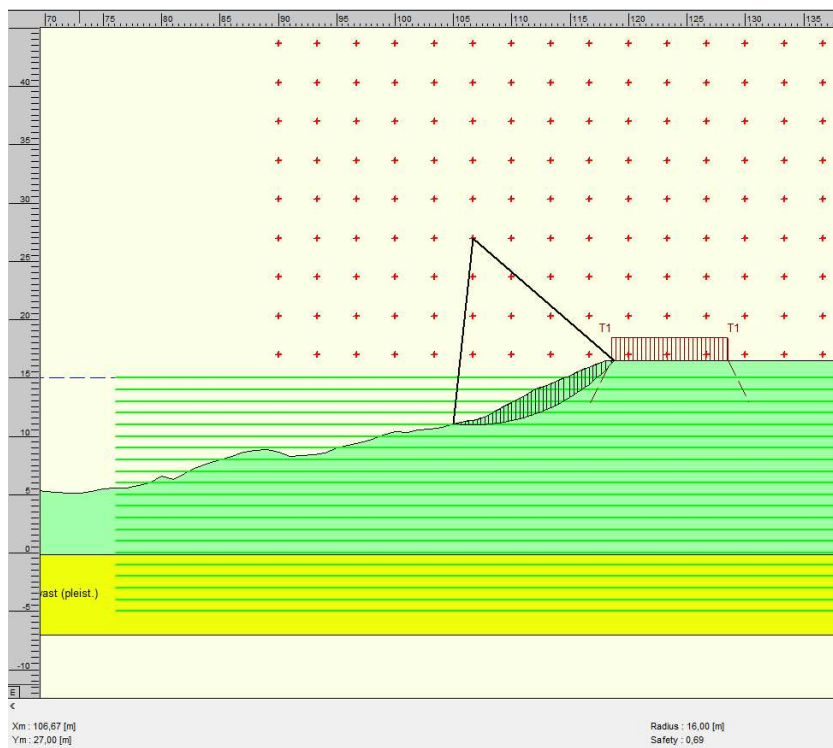
Tabel 4.1 Samenvatting stabiliteitsberekeningen in de uitvoeringsfase

Profiel	$F_{\min;rek}$ [-]	Voldoet? $F_{\min;rek} \geq 1,0$
Profiel 1	0,88	Nee
Profiel 2	0,69	Nee

In figuur 4.2 en figuur 4.3 zijn de resultaten van de berekeningen met rekenwaarden weergegeven.



Figuur 4.2 Minimale stabiliteit uitvoeringsfase profiel 1 ($F_{min} = 0,88$)



Figuur 4.3 Minimale stabiliteit uitvoeringsfase profiel 2 ($F_{min} = 0,69$)

Conclusie is dat de stabiliteit van beide profielen niet voldoen aan de vereiste stabiliteitsfactor. In de praktijk blijft het staan, mogelijk doordat er (toevallig) beter materiaal is gestort. In beide profielen is geen veiligheid aanwezig.

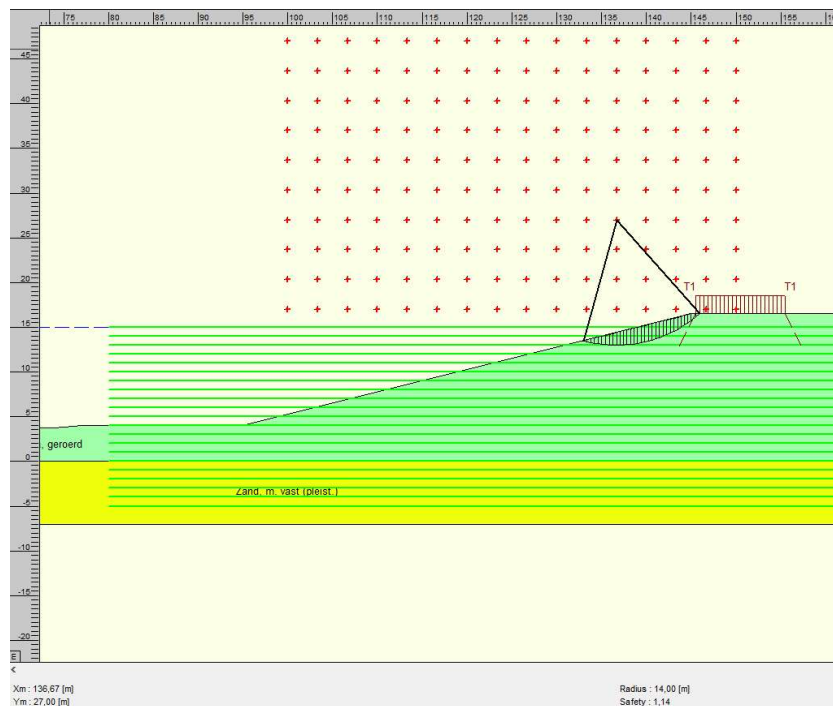
4.2 Bepaling benodigd talud

In de vorige paragraaf is geconstateerd dat het huidige talud niet voldoet aan de normen. De vraag is bij welk talud wordt wel aan de norm voldaan in de gebruiksfase. Ter bepaling van de steilste helling die nog voldoet aan de norm zijn stabiliteitsberekeningen gemaakt met een variërende taludhelling (van steil naar flauw). De berekeningen zijn samengevat in

Tabel 4.2 Samenvatting stabiliteitsberekeningen in de uitvoeringsfase

Taludhelling [V:H]	$F_{\min;rek}$ [-]	Voldoet? $F_{\min;rek} \geq 1,0$
1:3	0,89	Nee
1:3,5	1,01	Ja
1:4	1,14	Ja

Uit de stabiliteitsberekeningen blijkt dat een taludhelling 1:3,5 net voldoet aan de norm. Uit de stabiliteitsberekeningen blijkt dat de stabiliteit gevoelig is voor de toegepaste taludhelling. Van 1:3 naar 1:4 verandert de stabiliteitsfactor van 0,89 naar 1,14. Daarnaast moet in de praktijk rekening worden gehouden met onnauwkeurigheid in het realiseren van het onderwatertalud. Gezien deze opmerkingen wordt geadviseerd een talud van 1: 4 of flauwer te hanteren. Plaatselijk kunnen dan taluds van 1:3,5 ontstaan, maar die zijn ook nog stabiel.



Figuur 4.4 Stabiliteit gebruiksfase bij een talud 1:4 ($F_{\min} = 1,14$)

4.3 Aanbevelingen CUR 113

In de CUR 113 worden aanbevelingen gedaan om de uitvoering van terugstorten van grond te begeleiden. Met name bij het werken in de buurt van de oever. Bij een talud van 1:3 betekent dit een afstand tot ca. $12,5 \times 3 = 37,5$ m uit de oever. Een veiligheidsbeschouwing zou moeten worden uitgevoerd op hetzelfde niveau van diepgang als gebeurd bij de zandwinningsfase. De veiligheidsbeschouwing op verwekings- en bresvloeiing valt buiten het uit te brengen advies. In dit hoofdstuk zullen alleen enige opmerkingen worden gemaakt betreffende benodigde activiteiten tijdens het terugstorten.

Ervanuit gaande dat de risicobeschouwing voor de oorspronkelijke zandwinning op eenvoudig niveau is gedaan dienen minimaal de volgende werkzaamheden tijdens de realisatie van het onderwatertalud worden uitgevoerd:

- frequentie peilingen: Op dit moment is nog geen ontwerp bekend en zijn dus de hoeveelheden te storten materiaal/grond ook nog niet bekend. De frequentie van het peilen afstemmen op de noodzaak van monitoring van de ligging van het onderwatertalud volgens ontwerp.
- 1x peilen gehele put na afronden werkzaamheden.
- bijhouden logboek aangevoerde grond.
- positie van gestorte grond vastleggen.

Logboek

De vast te leggen gegevens hangen samen met de uitvoeringsmethode. In dit advies is uitgegaan van droog grondverzet. In het logboek dienen dagelijks te worden bijgehouden:

- ingebrachte volume grond;
- regelmatig grondmonsters nemen om samenstelling, droge stofgehalte en milieukundige stoffen vast te stellen;

Risico op onbeheerst bresproces

Een aandachtspunt is dat storten vanaf de oevers een extra risico geeft op het initiëren van een onbeheerst bresproces, vooral indien zich ter plaatse een diep en steil onderwatertalud bevindt (bv 1:4 of steiler over een diepte van 20 m of meer). Rekening houdend met deze omstandigheden kan een werkwijze met droog grondverzet wel toegepast worden.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Uitvoeringsfase

Het huidige talud blijft onder de natuurlijke omstandigheden wel staan, maar voldoet in de uitvoeringsfase niet overal langs de oever aan de veiligheidsnorm. Toetsing op risico op verwekings- en bresvloeiing tijdens het terugstorten van grond en maken van onderwatertalud valt buiten de opdracht en is daarom niet uitgevoerd. Voor een toetsing op verwekings- en bresvloeiing dient aanvullend grondonderzoek te worden uitgevoerd bestaande uit sonderingen en boringen en mogelijk labonderzoek. De hoeveelheid en diepte van de sonderingen en boringen hangt af van het niveau van diepgang dat gehanteerd (ervaring, eenvoudig, gedetailleerd of geavanceerd) zal worden bij de toetsing.

Gebruiksfase

Om in de gebruiksfase te voldoen aan de veiligheidsklasse RC1 wordt geadviseerd een talud 1:4 (V:H) of flauwer toe te passen.

Activiteiten tijdens grondstorten

In de CUR-Aanbeveling 113 worden aanbevelingen gedaan om het terugstorten van grond te begeleiden. Voor de benodigde activiteiten wordt verwezen naar par. 4.3.

5.2 Aanbevelingen

Indien in de loop van het project veranderingen optreden in het beschreven bouwplan of in de in dit advies gehanteerde uitgangspunten verzoeken wij contact met ons bureau op te nemen, zodat wij onze rapportage hieraan kunnen toetsen.