



Wiertsema & Partners

RAADGEVEND INGENIEURS



Raadgevend Ingenieursbureau
Wiertsema & Partners bv
Feithspark 6, 9356 BZ Tolbert
Postbus 27, 9356 ZG Tolbert
Tel.: 0594 51 68 64
Fax: 0594 51 64 79
E-mail: info@wiertsema.nl
Internet: www.wiertsema.nl

Geotechnisch onderzoek

Voorgenomen zandwinning te Harkstede

Bodemonderzoek en stabiliteitsanalyse met risicobeschouwing

VN-61367-3 | 3 februari 2015




Wiertsema & Partners

RAADGEVEND INGENIEURS

Raadgevend Ingenieursbureau
Wiertsema & Partners bv
Feithspark 6, 9356 BZ Tolbert
Postbus 27, 9356 ZG Tolbert
Tel.: 0594 51 68 64
Fax: 0594 51 64 79
E-mail: info@wieritsema.nl
Internet: www.wiertsema.nl

Onderwerp: Voorgenomen zandwinning te Harkstede
Projectnummer: VN-61367-3
Opdrachtgever: GEM Meerstad CV
Hoofdweg 143a
9617 AD Harkstede
Nr. opdrachtgever: 20141010/TB
Datum: 2 februari 2015

Versie	Datum	Omschrijving wijziging
1	15 december 2014	Rapportage
2	2 februari 2015	Rapportage, definitief

Opgesteld door:	ing. R. Barth
Handtekening:	i.o. 
Documentnummer:	R33793
Status:	definitief
Vrijgegeven door:	ir. C.A. van den Hoven



Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding en doel	4
1.2	Kwaliteitswaarborging	4
1.3	Leeswijzer	4
1.4	Referenties.....	4
2	Projectomschrijving	5
2.1	Inleiding.....	5
2.2	Huidige situatie.....	6
2.3	Uitgangspunten.....	6
2.4	Grondgegevens.....	7
2.4.1	Beschikbaar grondonderzoek.....	7
2.4.2	Beoordeling grondonderzoek	8
2.4.3	Laboratoriumonderzoek.....	8
2.4.4	Bodemopbouw.....	8
2.5	Schematisatie.....	9
2.6	Veiligheidsklasse	11
2.7	Rekenwaarden.....	12
3	Stabiliteitsanalyse	13
3.1	Inleiding.....	13
3.2	Macrostabiliteit.....	13
3.2.1	Berekeningsmethode	13
3.2.2	Resultaten.....	13
3.3	Microstabiliteit.....	15
3.4	Dynamische stabiliteit.....	17
3.4.1	Verweking.....	17
3.4.2	Bresvloeiing.....	19
3.4.3	Taludontwikkeling tijdens het zand zuigen (winzuiger)	21
4	Risicobeschouwing	23
4.1	Eenvoudige risico analyse	23
5	Conclusies en aanbevelingen	24
5.1	Conclusies	24
5.2	Aanbevelingen.....	25

Bijlagen:

- 1 DGeo-stability resultaten



1 Inleiding

In opdracht van GEM Meerstad CV te Harkstede heeft Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners bv een geotechnisch onderzoek uitgevoerd voor de voorgenomen zandwinning te Harkstede.

De werkzaamheden zijn verricht in aanvulling op het eveneens door ons bureau uitgevoerde grondonderzoek gerapporteerd onder 'Geotechnisch onderzoek' (zie ons projectnummer VN-61367-1, rapportnummer R32742, d.d. 2014-12-05).

1.1 Aanleiding en doel

Het geotechnisch advies wordt uitgevoerd in verband met de ontgrondingsaanvraag t.b.v. de voorgenomen zandwinning te Harkstede.

1.2 Kwaliteitswaarborging

De werkzaamheden zijn verricht onder ons kwaliteitssysteem NEN-EN-ISO-9001 en ons milieumanagementsysteem NEN-EN-ISO-14001. Wiertsema & Partners is in het bezit van een VGM-beheersysteem VCA**.

1.3 Leeswijzer

Na de inleiding in dit eerste hoofdstuk volgt in het tweede hoofdstuk de omschrijving van het project, beschikbare en geleverde gegevens en uitgangspunten. Vervolgens staan in hoofdstuk 3 de stabiliteitsanalyse. In hoofdstuk 4 volgt de risicobeschouwing. Tot slot staan in hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen.

In de bijlagen zijn het geotechnisch onderzoek en de DGeo-stability resultaten opgenomen.

1.4 Referenties

- [1] CUR-Aanbeveling 113 Oeverstabiliteit bij zandwinputten,
- [2] VN-28738A, Geotechnisch onderzoek 16-07-2003, Wiertsema & Partners te Tolbert,
- [3] Tekening P09-07-09-T8R0 onderzoeksgebied zandwinning,
- [4] NEN-EN 9997-1+C1,
- [5] VN-61367-1 R32742, Geotechnisch onderzoek, 2014-12-04, Wiertsema & Partners.

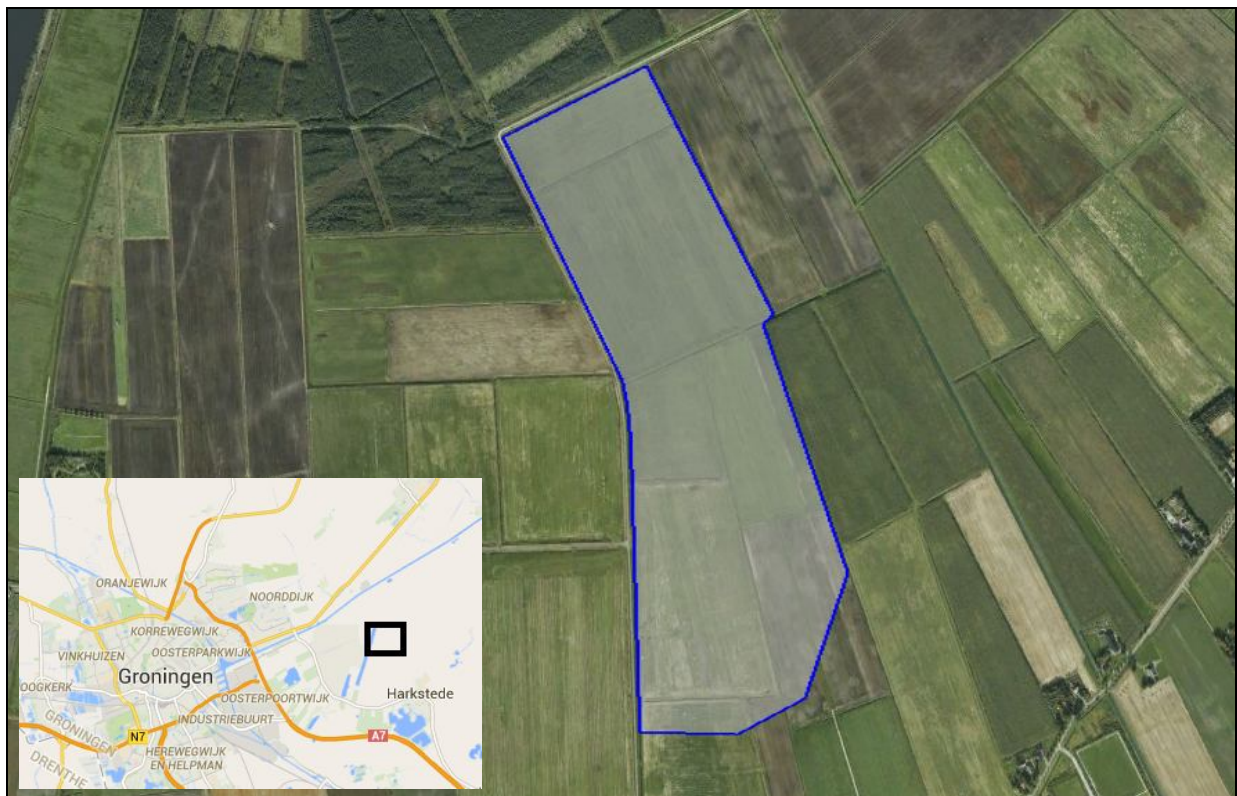


2 Projectomschrijving

2.1 Inleiding

Nabij de stad Groningen wordt Meerstad gerealiseerd. Op basis van de huidige ontwerpen (zie Figuur 1) en reeds gedane bodemonderzoeken in het verleden is er door de klant een uitvraag gedaan voor bodemonderzoek en stabiliteitsanalyse met risicobeschouwing (volgens Ref.1) voor de voorgenomen zandwinning.

Op basis van de resultaten van het uitgevoerde grondonderzoek (Ref 2 & 5) zal een geotechnisch profiel van de ondergrond worden geschematiseerd. Tevens zullen de grondparameters conform de NEN-EN-9997-1+C1 (Ref 4) worden vastgesteld. Op basis van deze gegevens wordt een taludontwerp doorberekend en zal rekening worden gehouden met de veiligheid tegen afschuiven (macro- en microstabiliteit), verwekingsgevoelige lagen en de taludontwikkeling tijdens het winnen van het zand. Risicobeschouwing zal worden uitgevoerd conform de CUR113 (Ref 1) en daarop volgende mitigerende maatregelen tot het minimaliseren van mogelijke oeverinscheringen zullen worden behandeld.



Figuur 1 - Locatie voorgenomen zandwinning (Bron: Google Earth)



2.2 Huidige situatie

De huidige situatie bestaat uit voornamelijk uit landbouw grond en is weergegeven in Figuur 1.

2.3 Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd in de stabiliteitsanalyse en risicobeschouwing voor de voorgenomen zandwinning.

Grondgegevens

Voor de berekeningen van de stabiliteit van de verdieping wordt uitgegaan van de in paragraaf 2.4 vermelde bodemopbouw en parameters.

Waterstanden

De gemiddelde waterstand in het Woldmeer is aangegeven door de klant met een hoogte van N.A.P. -2.30m.

De grondwaterstand welke in dit rapport wordt gehanteerd is gebaseerd op de grondwaterkaart van het Dinoloket op N.A.P. -2.00m.

Ligging maaiveld

De hoogte van het huidige maaiveld is door de klant aangegeven en ligt op N.A.P. -2.00m.

Taluds

De taludhellingen worden ontworpen aan de hand van de richtlijnen volgens de CUR113 (Ref 1).

Projectlocatie

De contour van de geplande zandwinlocatie is weergegeven in Figuur 1. De opdrachtgever is voornemens om een vergunning aan te vragen voor het winnen van zand tot N.A.P. -9m.

Richtlijnen

CUR-aanbeveling 113 [Ref 1]

NEN-EN-9997-1+C1 [Ref 4].

Belastingen

In verband met eventuele oeverafwerkingen is gerekend met een tijdelijke ongunstige bovenbelasting van 10kN/m^2 , werkend over een breedte van circa 5 meter, gerekend vanaf de insteek van het talud.

Er wordt in deze rapportage geen rekening gehouden met aardbevingsgevoeligheid van de voorgenomen zandwinput. In de voorgeschreven CUR113 wordt niet aangegeven hier rekening mee te houden.



2.4 Grondgegevens

2.4.1 Beschikbaar grondonderzoek

De onderstaande uitgevoerde grondonderzoeken rondom de projectlocatie zijn beschikbaar en zullen worden gebruikt voor de stabiliteitsanalyse en risicobeschouwing van de voorgenomen zandwinning:

- [Ref 5] VN-61367-1, Geotechnisch onderzoek R32742 (16 boringen inclusief korrelverdelingen, B001 tot B016),
- [Ref 2] VN-28738A, Geotechnisch onderzoek 16-07-2003 (27 sonderingen, DKM13 tot DKM27).

Een situatietekening met de beschikbare grondonderzoeken zijn weergegeven in Figuur 2. De witte bollen geven het laatst uitgevoerde grondonderzoek (Ref 5, B=boringen) weer en de gele prikkers eerder uitgevoerd onderzoek (Ref 2, DKM = sonderingen met meting wrijvingsweerstand).



Figuur 2 - Beschikbaar grondonderzoek (Bron: Google Earth)



2.4.2 Beoordeling grondonderzoek

Bij de bepaling van het minimaal benodigd grondonderzoek voor de voorgenomen zandwinning wordt volgens de CUR 113 de richtlijn geadviseerd zoals aangegeven in Tabel 1.

Tabel 1- CUR 113 richtlijn grondonderzoek

Niveau	Faalmechanisme			
	Eenvoudig	Afschuiving	Verwekingsvloeiing	Bresvloeiing
Sondering				
diepte		$1,3 \times H_R$	$1,5 \times H_R$	
aantal (1)		0,3 à 1,0 km	0,3 à 0,5 km	
minimaal (2)		3	4	
Boring				
diepte				H_R
aantal (1)				0,3 à 1,0 km
minimaal (2)				3
(1) = 1 sondering en of boring per km oever				
(2) = minimaal aantal per put				
H_R = rekenputdiepte [m]				

De voorgenomen zandwinning kan invloed hebben op circa 3km taludoever. Uitgaande dat de zandwinning met een diepte van N.A.P. -9m een rekenputdiepte zal hebben van circa 7.24m, dan betekent dit volgens Tabel 1 dat er minimaal 6 sonderingen beschikbaar dienen te zijn met een minimale sondeerdiepte van 10.86m (tot N.A.P. -12.86m) voor analyse op afschuiving en verweking. Voor een bresanalyse dienen er minimaal 3 boringen met een diepte van 7.24m (N.A.P. -9m) beschikbaar te zijn.

Uit analyse van de beschikbare grondgegevens blijkt dat de boringen en sonderingen op voldoende diepte zijn uitgevoerd. Hieruit mag worden geconcludeerd dat de basisgegevens voor het onderliggende stabiliteitsonderzoek qua omvang aan de CUR113 richtlijn voldoet en als representatief kan worden beoordeeld.

2.4.3 Laboratoriumonderzoek

Van de boringen B001 t/m B016 zijn in het laboratorium van ons bureau van de genomen grondmonsters korrelverdelingen bepaald waarvan de resultaten zijn weergegeven in de bijlage 1.

2.4.4 Bodemopbouw

Uit de uitgevoerde grondonderzoeken blijkt dat vanaf het maaiveld een deklaag aanwezig is van circa 1 meter dikte. De deklaag bestaat voornamelijk uit zwak zandig veen en sterk humeus zand. Vanaf N.A.P. -3m tot ongeveer N.A.P. -10m bevindt zich een zandpakket bestaande uit zeer fijn, matig gepakt zand met een fijn gehalte (korrelgrootte $<63\mu\text{m}$) van ongeveer 17%. Sterk zandige kleilagen van 1m tot 1.5m komen voor in deze laag. Van N.A.P. -10m tot N.A.P. -14m bevindt zich een zandpakket bestaande uit matig fijn, vast gepakt zand.

Tabel 2 - Bodemopbouw

Diepte t.o.v. N.A.P. [m]	Grondsoort
-2.00 tot -3.00	Veen, zwak zandig / Zand, sterk humeus
-3.00 tot -6.00	Zand zeer fijn, zwak siltig, los tot matig gepakt
-6.00 tot -7.50	Klei, uiterst zandig
-7.50 tot -10.00	Zand zeer fijn, zwak siltig, matig gepakt
-10.00 tot -14.00	Zand matig fijn, zwak siltig, vast gepakt

2.5 Schematisatie

Stabiliteitsanalyse

Uit de beschikbare sonderingen en boringen en opstellen van de bodemopbouw blijkt dat op de projectlocatie er in de bovenlaag van N.A.P. -3m tot N.A.P. -10m geen homogeen pakket aanwezig te zijn. Hierdoor is er gekozen om 2 grond schematisaties (Tabel 3 en Tabel 4) van de bodemopbouw te hanteren in de stabiliteitsanalyse (macrostabiliteit).

Op basis van de beschikbare sonderingen en boringen zijn de representatieve grondparameters per onderscheidende grondlaag toegekend conform tabel 2b uit de NEN-EN 9997-1+C1 (Ref 4). De deklaag bestaande uit veen en sterk humeus zand is aangenomen als een sterk siltig zandpakket.

Tabel 3 - Maatgevende bodemopbouw 1 (representatieve waarden)

Diepte t.o.v. N.A.P. [m]	Grondsoort	γ_{sat} [MPa]	ϕ' [°]	c' [kPa]
-2.00 tot -3.00	Zand, sterk siltig	21	25	0
-3.00 tot -6.00	Zand zeer fijn, zwak siltig, matig gepakt	21	27	0
-6.00 tot -7.50	Klei, uiterst zandig	20	27.5	0
-7.50 tot -10.00	Zand zeer fijn, zwak siltig, matig gepakt	21	27	0
-10.00 tot -14.00	Zand matig fijn, zwak siltig, vast gepakt	21	27	0

Tabel 4 - Maatgevende bodemopbouw 2 (representatieve waarden)

Diepte t.o.v. N.A.P. [m]	Grondsoort	γ_{sat} [MPa]	ϕ' [°]	c' [kPa]
-2.00 tot -3.00	Zand, sterk siltig	21	25	0
-3.00 tot -7.50	Zand zeer fijn, zwak siltig, los gepakt	21	27	0
-7.50 tot -10.00	Zand zeer fijn, zwak siltig, matig gepakt	21	27	0
-10.00 tot -14.00	Zand matig fijn, zwak siltig, vast gepakt	21	27	0

Hierin is:

γ_{sat}	het volumegewicht van volledig verzadigde grond	[kN/m ³]
ϕ'	effectieve hoek van inwendige wrijving	[°]
c'	effectieve cohesie	[kPa]



Zandlagen

Om inzicht te verkrijgen in de taludontwikkeling tijdens het baggeren, het zogenaamd beheerst bressen, is gebruikt gemaakt van korrelverdelingen van grondmonsters die zijn genomen bij grondonderzoek uit referentie 5. Op basis van de korrelverdelingen zijn onder andere de korrelgrootte D50 en D15 bepaald die tezamen met de relatieve dichtheid van de betreffende zandlaag inzicht geven in het bresproces tijdens het baggeren.

Uit de beschikbare sonderingen en boringen en opstellen van de bodemopbouw blijkt er in de boven laag van N.A.P. -3m tot N.A.P. -10m geen homogeen pakket aanwezig te zijn. Hierdoor is er gekozen om onderstaande schematisaties (Tabel 5 en Tabel 6) van de bodemopbouw te hanteren in de stabiliteitsanalyse (microstabiliteit – bressen). Figuur 3 geeft de te verwachten situatie van de opbouw van zowel korrelverdeling als bodem weer binnen de projectlocatie.

Tabel 5 – Korrelverdeling opbouw 1

Diepte t.o.v. N.A.P. [m]	Grondsoort	D50 [μm]	D15 [μm]
-3.00 tot -6.00	Zand zeer fijn, zwak siltig, matig gepakt	152	66
-6.00 tot -7.50	Klei, uiterst zandig	63	15
-7.50 tot -9.00	Zand zeer fijn, zwak siltig, matig gepakt	142	63

Tabel 6 – Korrelverdeling opbouw 2

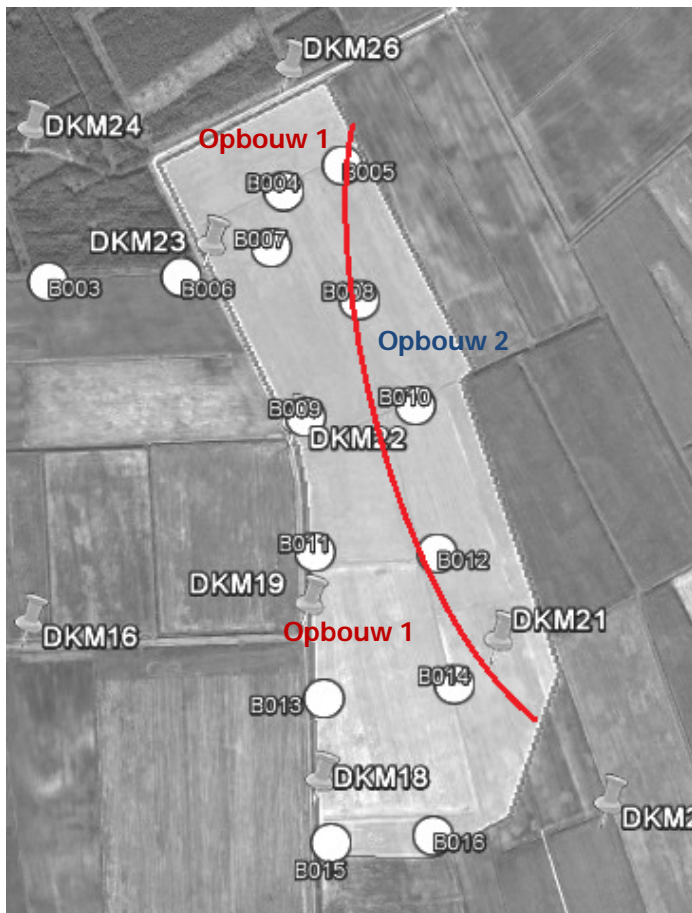
Diepte t.o.v. N.A.P. [m]	Grondsoort	D50 [μm]	D15 [μm]
-3.00 tot -4.50	Zand zeer fijn, zwak siltig, los gepakt	169	90
-4.50 tot -6.50	Zand zeer fijn, zwak siltig, matig gepakt	132	17
-6.50 tot -7.50	Zand zeer fijn, zwak siltig, matig gepakt	160	41
-7.50 tot -9.00	Zand zeer fijn, zwak siltig, matig gepakt	164	88

Hierin is:

D50 Gemiddelde korreldiameter van het zandpakket [μm]
 D15 Korreldiameter waarbij 15% van het zandpakket een kleinere diameter heeft [μm]

Uit Tabel 5 en Tabel 6 is op te maken dat over de gehele diepte tot N.A.P. -9m de opbouw bestaat uit zeer fijn zand met een hoog fijn gehalte. In de korrelverdeling opbouw 1 is voor de klei laag een zeer fijne zandlaag aangenomen.

Korrelverdeling opbouw 1 en 2 zullen beide worden beschouwd in hoofdstuk 3 Stabiliteitsanalyse.



Figuur 3 - Situatie korrelverdeling opbouw

2.6 Veiligheidsklasse

Voor de toetsing van geotechnisch grenstoestanden (algehele stabiliteit) is veiligheidsklasse RC1 van toepassing, door de geringe gevolgen ten aanzien van het verlies van menslevens en/of kleine of verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.

De gegeven partiële factoren uit tabel A.1 en A.4a (zie Ref 4.) behorende bij RC1 worden toegepast op de representatieve waarden uit bovenstaande Tabel 3, Tabel 4 en de aanwezige belastingen.

In dit rapport zal een risicobeschuiving op een eenvoudige methode worden uitgevoerd. Dit is een deterministische methode met veiligheidsfactoren volgens bovengenoemde veiligheidsklasse. Voldoende veiligheid wordt hierbij gegarandeerd door aan de veilige kant te ontwerpen.



2.7 Rekenwaarden

Een rekenwaarde is een representatieve waarde vermenigvuldigd (of gedeeld) door een partiële factor volgens de bijbehorende veiligheidsklasse.

De tijdelijke boven belasting op de kruin van de insteek van het talud zal ongunstig werken op de algehele stabiliteit, waardoor een partiële factor van 1,5 wordt toegepast. Resulterende in een rekenwaarde voor de boven belasting van 15kN/m² over een breedte van 5m.

In Tabel 7 en Tabel 8 staan de rekenwaarden vermeld voor de grondparameters.

Tabel 7 - Maatgevende bodemopbouw 1 (reken waarden)

Diepte t.o.v. N.A.P. [m]	Grondsoort	γ_{sat} [MPa]	ϕ' [°]	c' [kPa]
-2.00 tot -3.00	Zand, sterk siltig	21	21.2	0
-3.00 tot -6.00	Zand zeer fijn, zwak siltig, matig gepakt	21	23.0	0
-6.00 tot -7.50	Klei, uiterst zandig	20	23.5	0
-7.50 tot -10.00	Zand zeer fijn, zwak siltig, matig gepakt	21	23.0	0
-10.00 tot -14.00	Zand matig fijn, zwak siltig, vast gepakt	21	23.0	0

Tabel 8 - Maatgevende bodemopbouw 2 (reken waarden)

Diepte t.o.v. N.A.P. [m]	Grondsoort	γ_{sat} [MPa]	ϕ' [°]	c' [kPa]
-2.00 tot -3.00	Zand, sterk siltig	21	21.2	0
-3.00 tot -7.50	Zand zeer fijn, zwak siltig, los gepakt	21	23.0	0
-7.50 tot -10.00	Zand zeer fijn, zwak siltig, matig gepakt	21	23.0	0
-10.00 tot -14.00	Zand matig fijn, zwak siltig, vast gepakt	21	23.0	0

Hierin is:

γ_{sat}	het volumegewicht van volledig verzadigde grond	[kN/m ³]
ϕ'	effectieve hoek van inwendige wrijving	[°.]
c'	effectieve cohesie	[kPa]



3 Stabiliteitsanalyse

3.1 Inleiding

In dit rapport zal in paragraaf 3.2 de statische stabiliteit (macrostabiliteit) bij een verdieping tot N.A.P. -9m worden beschouwd. De dynamische stabiliteit, welke vooral van belang is tijdens de exploitatiefase, zal in paragraaf 3.4 worden behandeld. Daarbij komen de volgende aspecten aan de orde:

1. Mogelijkheid tot het optreden van verwekingsvloeiingen (faalmechanismen verweking),
2. Taludontwikkeling ten gevolge van het zand zuigen (faalmechanisme bresvloeiing).

In dit rapport zullen de genoemde aspecten worden getoetst aan de hand van de CUR-Aanbeveling 113 'Oeverstabiliteit bij zandwinputten'. Het toetsingsniveau is eenvoudig van opzet.

3.2 Macrostabiliteit

3.2.1 Berekeningsmethode

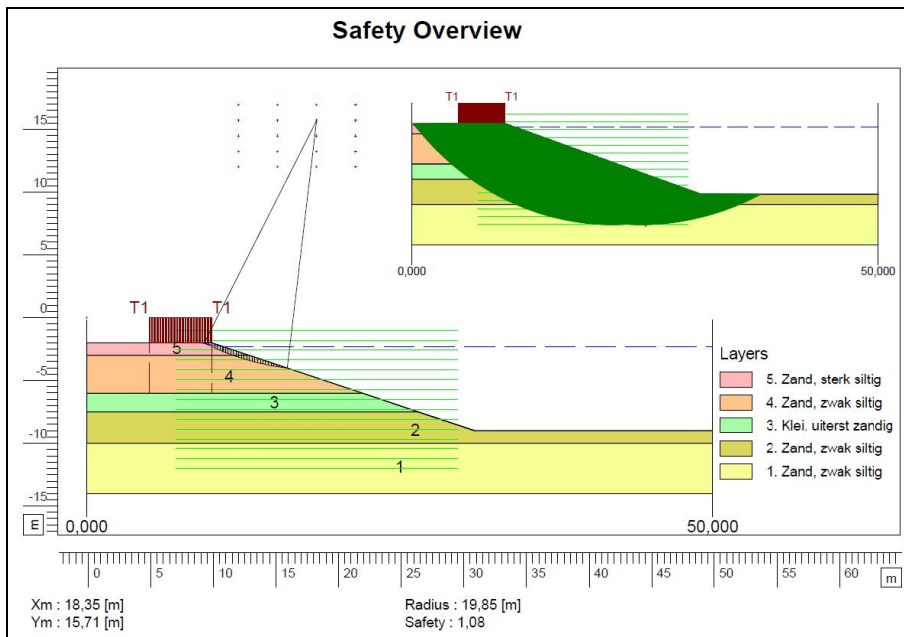
De macrostabiliteit van bodemopbouw 1 en 2 zal in het programma D-Geostability v10.1 worden beschouwd op de kans op afschuiving aan de hand van de methode van Bishop. Bij het invoeren van de reken waarden (paragraaf 2.7) van de grondparameters en de toegepaste belastingen (paragraaf 2.7) in het programma D-GeoStability v10.1 moet volgens de CUR113 [Ref. 1] een veiligheidsfactor van 1,0 worden gehanteerd. Bij een evenwichtsfactor groter dan 1,0 kan de veiligheid worden gegarandeerd.

3.2.2 Resultaten

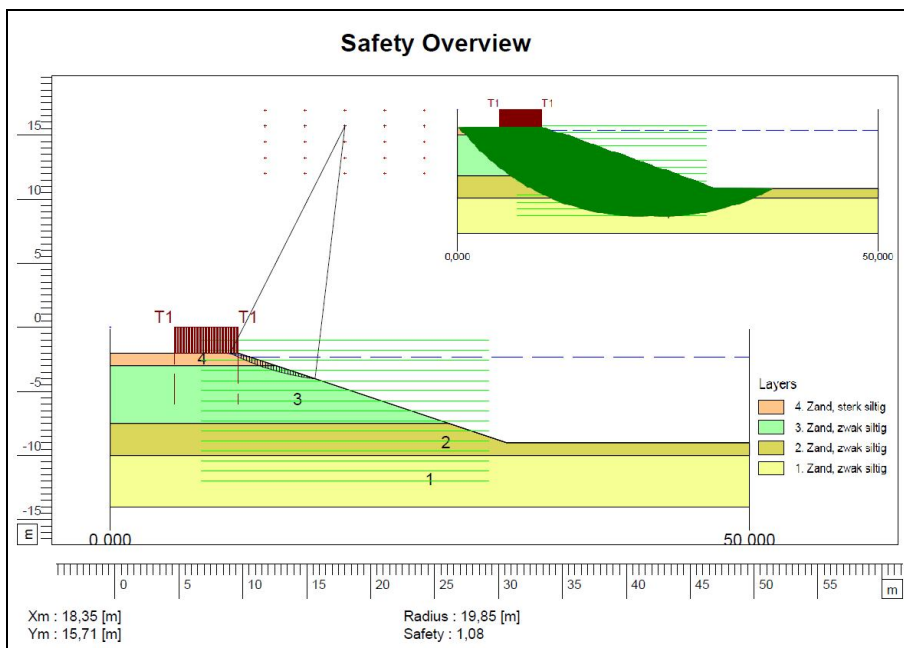
Figuur 4 geeft de resultaten weer van de beschouwing van bodemopbouw 1 (Tabel 7) op de kans op afschuiving volgens de methode van Bishop. Hieruit blijkt dat de dwarsdoorsnede voldoende veiligheid biedt tegen afschuiving bij een taludhelling 1:3. De veiligheidsfactor van de door dwarsdoorsnede is 1,08.

Figuur 5 geeft de resultaten weer van de beschouwing van bodemopbouw 2 (Tabel 8) op de kans op afschuiving volgens de methode van Bishop. Hieruit blijkt dat de dwarsdoorsnede voldoende veiligheid biedt tegen afschuiving bij een taludhelling 1:3. De veiligheidsfactor van de door dwarsdoorsnede is 1,08.

Tevens is er gekeken naar een taludhelling van 1:2,5 en 1:2 voor zowel bodemopbouw 1 als 2 waarbij tevens boven belasting aanwezig is. Hieruit is gebleken dat deze niet stabiel zijn en dus geen veiligheid biedt tegen afschuiving.



Figuur 4 - Algehele stabiliteit bodemopbouw 1 (1:3 talud)



Figuur 5 - Algehele stabiliteit bodemopbouw 2 (1:3 talud)

Conclusie

De veiligheid tegen afschuiving bij bodemopbouw 1 en 2 zijn voldoende gegarandeerd bij een taludhelling van minimaal 1:3.

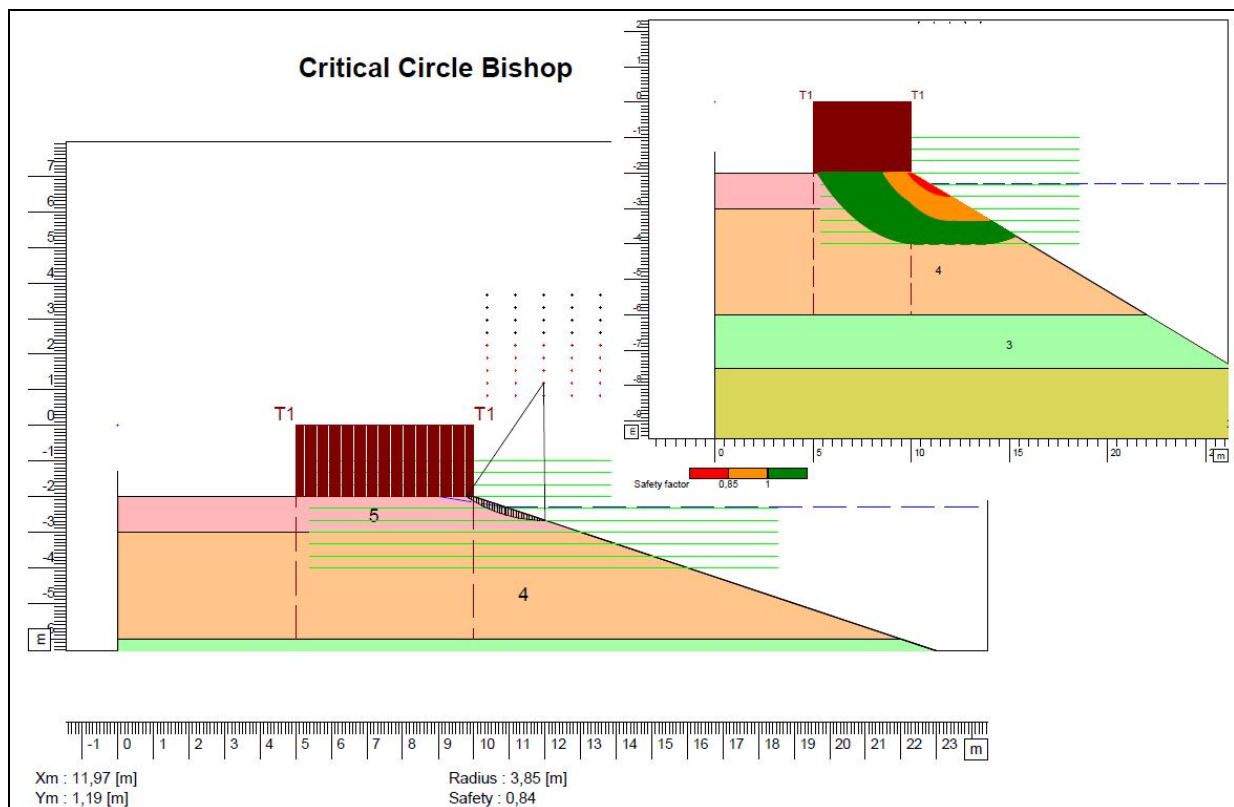


Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

3.3 Microstabiliteit

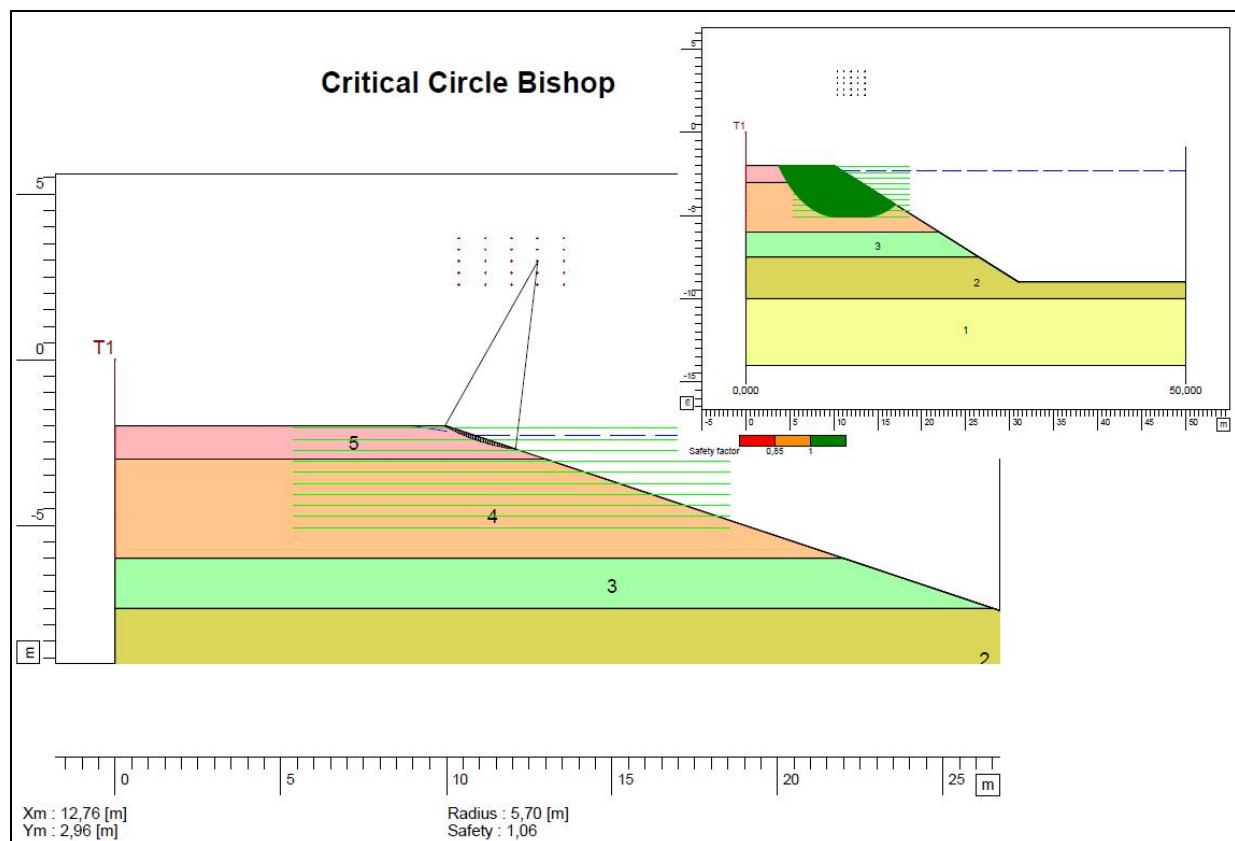
Hieronder wordt verstaan de stabiliteit van individuele zandkorrels die negatief wordt beïnvloed wanneer er sprake is van uitredend water uit het talud als gevolg van een peil in de zandwinning dat lager is dan de omringende grondwaterstand. Er moet sprake zijn van een voldoende groot verhang in de grondwaterstanden wil er evenwichtsverlies optreden.

In Figuur 6 en Figuur 7 is er gekeken naar de microstabiliteit bij een grondwaterstand van N.A.P. - 2.00m en een waterstand in de zandwinning van N.A.P.-2.30m met taludhelling 1:3. In deze situatie is het verhang tussen grondwaterstand en waterstand in de zandwinning het grootst (30 centimeter).



Figuur 6 - Microstabiliteit met bovenbelasting





Figuur 7 - Microstabiliteit zonder bovenbelasting

De taludhelling van 1:3 vertoont ter hoogte van de waterlijn (N.A.P. -2.30m) micro-instabiliteit wanneer er een bovenbelasting aanwezig is op de kruin vanaf de insteek van het talud (zie Figuur 6). Wanneer de bovenbelasting op een minimale afstand van 2.50m van de kruin van de insteek van het talud wordt geplaatst kan de microstabiliteit van het talud worden gegarandeerd.



3.4 Dynamische stabiliteit

De dynamische stabiliteit wordt beschouwd op bresvloeiing en verwekingsvloeiing. Een beschouwing van aardbevingsgevoeligheid valt buiten de scope van onze werkzaamheden. Mogelijke bresvloeiing wordt in het programma HMBreach benaderd. De kans op verweking wordt benaderd door middel van de relatieve dichtheid van Baldi.

3.4.1 Verweking

De CUR-113 [Ref 1] beveelt aan dat een talud voldoende veilig is tegen verweking als aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

1. Relatieve dichtheid (R_n) kleiner dan 50% mag niet voorkomen bij een laag groter dan 1 meter (verwekingsgevoeligheid-criterium)
of
2. De rekentaludhelling is flauwer dan 1: $(7 \times (H_r/30)^{1/3})$, waarbij H_r de rekenputdiepte betreft.
of (geometrie-criterium)
3. Relatieve dichtheid kleiner dan 50% mag niet voorkomen bij een laag groter dan 3 meter en de rekentaludhelling is flauwer dan 1: $(4 \times (H_r/30)^{1/3})$, waarbij H_r de rekenputdiepte betreft (combinatie van verwekingsgevoeligheid- en geometriecriterium)

In Tabel 9 zijn de resultaten weergegeven van een indicatieve verwekingsanalyse conform de CUR113. In de tabel zijn de zandlagen aangemerkt die een relatieve dichtheid (volgens Baldi 1986) hebben kleiner dan 50% en waarvan de laagdikte groter of gelijk is aan 1 meter. Analyse is uitgevoerd tot een diepte van 1,5 x Rekenputdiepte (N.A.P. -12.86m)

Tabel 9 – Indicatieve analyse verwekingsgevoeligheid

Project	Sondering	Laagdikte [m]	o.k.l. [m N.A.P]	Omschrijving
VN-28738 (Ref 2)	DKM018	1,00	-4,50	Fijn zand, zwak siltig $R_n < 50\%$
VN-28738 (Ref 2)	DKM018	1,00	-6,50	Fijn zand, zwak siltig $R_n < 50\%$
VN-28738 (Ref 2)	DKM019	1,00	-8,50	Fijn zand, zwak siltig $R_n < 50\%$
VN-28738 (Ref 2)	DKM020	1,00	-10,20	Fijn zand, zwak siltig $R_n < 50\%$
VN-28738 (Ref 2)	DKM020	1,50	-8,20	Fijn zand, zwak siltig $R_n < 50\%$
VN-28738 (Ref 2)	DKM021	1,00	-6,00	Fijn zand, zwak siltig $R_n < 50\%$
VN-28738 (Ref 2)	DKM022	1,00	-8,40	Fijn zand, zwak siltig $R_n < 50\%$
VN-28738 (Ref 2)	DKM023	1,00	-8,30	Fijn zand, zwak siltig $R_n < 50\%$

Hierin is:

o.k.l. onderkant laag

Uit de analyse van de sonderingen, Tabel 9, blijkt er tot een diepte van N.A.P. -8m zandlagen aangetroffen te kunnen worden met een relatieve dichtheid die onder de 50% ligt. De dikte van de lagen zijn gemiddeld 1 meter dus volgens de CUR113 is er sprake van een kans op verweking.



De sonderingen geven aan dat de kans van verweking in de zandlaag tussen N.A.P. -6m en N.A.P. -8,50m aanwezig is. Bovendien geven de sondeerwaarden en de boringen aan dat er op de genoemde diepten het zand fijn van structuur is en zwak siltig ($D_{50} = 140\mu\text{m}$).

Op basis van de uitkomsten van de verwekingsanalyse zijn wij van mening dat op basis van de onderzoeksresultaten er een grote kans aanwezig is voor verweking en dat hier in het taludontwerp rekening mee moet worden gehouden.

Vanwege het risico op verweking ten gevolge van uitsluitend het verwekingsgevoeligheidscriterium is tevens een combinatie van het verwekingsgevoeligheidscriterium en het geometriecriterium beschouwd (CUR113 toets methode 3). Hierbij geldt dat de toelaatbare dikte van de lagen met een relatieve dichtheid kleiner dan 50%, is vergroot tot 3 m en het geometriecriterium is verruimd tot de eis dat de rekentaludhelling α_R flauwer moet zijn dan $1 : 4 * (H_R/30\text{m})^{1/3}$.

De rekentaludhelling (α_R) van het talud (taludhelling 1:3 voor bodemopbouw 1 en 2) heeft een waarde van 1:2,9 welke steiler is dan 1:4,3 ($4x(H_R/30)^{1/3}$). Hierdoor wordt de kans op het optreden van een verwekingsvloeiing tijdens de uitvoering niet verwaarloosd. Kans op verweking kan worden verwaarloosd wanneer er een taludhelling wordt aangehouden van 1:4,5.

Conclusie

De kans op het optreden van een verwekingsvloeiing tijdens de uitvoering kan niet worden verwaarloosd doordat de combinatie bodemopbouw en taludgeometrie niet voldoen aan de voorwaarden gesteld in de CUR113. Met ander woorden, in de beheerfase van het project moet de kans op afschuiven als gevolg van verweken worden meegenomen wanneer een helling van 1:3 wordt aangehouden. Er wordt geadviseerd om een taludontwerp van minimaal 1:4,5 toe te passen waardoor de kans op verwekingsvloeiingen tijdens de uitvoering kan worden verwaarloosd.

Opmerking

Voor het ontstaan van een afschuiving als gevolg van verweken, dient er een triggermechanisme aanwezig te zijn in de vorm van aardbevingstrillingen, trillingen als gevolg van bouwwerkzaamheden en/of baggerwerkzaamheden. Een analyse ten aanzien van de verwekingsgevoeligheid als gevolg van een aardbeving en/of trillingen als gevolg van bouwverkeer is in dit rapport niet meegenomen, aangezien dit buiten de kaders van de CUR113 valt.

3.4.2 Bresvloeiing

Bij het winnen van zand uit de voorgenomen zandwinput is uitgegaan van een winzuiger. Op eenvoudige wijze kan tot de aangegeven diepte zand worden gewonnen. De begrenzing van de winput biedt voldoende ruimte om variatie van het talud toe te staan en zal een zekere onnauwkeurigheid bij de vorming van het talud geen probleem vormen.

In het voorgaande is reeds aangegeven dat een onbeheerst bresproces meestal de aanleiding is van een oeverinschaling. In de CUR aanbeveling 113 zijn voorwaarden gesteld waaraan moet worden voldaan om een beheerst bresproces te kunnen garanderen en dus het risico op een onbeheerst bresproces te minimaliseren.

Deze voorwaarden betreffen:

- de grondgesteldheid;
- de wijze van uitvoering van de zandwinning;
- controle van de uitvoering en de taludontwikkeling.

Onderstaand zal worden beschouwd of de voorwaarden aanwezig zijn voor een beheerst bresproces. Vervolgens zal worden ingaan op de taludontwikkeling bij beheerst bressen en opvolgend een taludontwerp.

Beheerst bressen

Om de kans op een beheerst bresproces te vergroten moeten aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

1. voldoende taludstabiliteit voor afschuiving en/of verweking;
2. het zand mag niet te fijn zijn ($D_{50} < 200 \mu\text{m}$ en $D_{15} < 100 \mu\text{m}$)
3. de grondlagen moeten zodanig zijn dat een regelmatig bresproces mogelijk is;
4. bij de uitvoering dient rekening te worden gehouden met het type materieel (zuiger) en de wijze waarop deze in relatie tot de maakbaarheid van het (ontwerp) talud wordt ingezet.

Voorwaarde 1 Taludstabiliteit

Uit de paragrafen 3.2 en 3.4.1 blijkt dat:

- de taluds qua macrostabiliteit voldoen bij een taludontwerp groter dan 1:3
- er een kans aanwezig is op een verwekingsvloeiing tijdens de uitvoering in de fijne zandlaag van N.A.P. -6,00m tot N.A.P. -8,50m;

Voorwaarde 2 Zand niet te fijn

Op basis van de resultaten van het grondonderzoek (bijlage 1) is de verwachting dat de zandlaag tussen N.A.P. -6,50m en N.A.P. -8m voornamelijk uit matig siltig zand bestaat met een D_{50} van circa $140 \mu\text{m}$ en een D_{15} van $68 \mu\text{m}$.

Voorwaarde 3 Grondlagen

Voorwaarden die aan de grond worden gesteld voor een beheerst bresproces zijn dat:

- de grond uit niet cohesief bressend materiaal bestaat;
- er een horizontale laagopbouw van de grond aanwezig is;
- de dikte van de stoorlagen van klei of veen ten hoogste 0,5 m bedraagt.



Het grondonderzoek laat zien dat er naast de aanwezigheid van een deklaag van circa 1,0 m dik tevens een cohesieve laag aanwezig kan zijn tussen N.A.P. -6m en N.A.P. -7,5m (groter dan 0,5m) volgens bodemopbouw 1. Tussen deklaag en de mogelijk aanwezige cohesieve laag bevindt zich een laag van fijn siltig zand. Van N.A.P. -7,50m tot onderkant zandwinput bevindt zich een matig gepakt fijn zandpakket. Bodemopbouw 2 bestaat voornamelijk uit een laag van fijn siltig zandpakket.

Op basis van het voorgenoemde is onze inschatting dat er grote kans aanwezig is dat er een ongecontroleerde bresvloeiing optreedt bij de voorgenomen locatie van de zandwinput. De kans op bresvloeiing wordt voornamelijk geïnitieerd door de fijne structuur van het zandpakket en de aanwezigheid van een cohesieve laag in bodemopbouw 2. Volgens de CUR113 is een bresanalyse noodzakelijk.

Uiteraard speelt de wijze van uitvoering ook een zeer grote rol in het wel of niet optreden van een onbeheerst bresproces.

Voorwaarde 4 Uitvoering

Door de opdrachtgever is aangegeven dat het winnen van het zand zal geschieden door middel van een winzuiger. In deze rapportage wordt uitgegaan van een beheerst bresproces waarbij de winmethode (winplan) van een winwerktuig minimaal dient te voldoen aan de volgende voorwaarden:

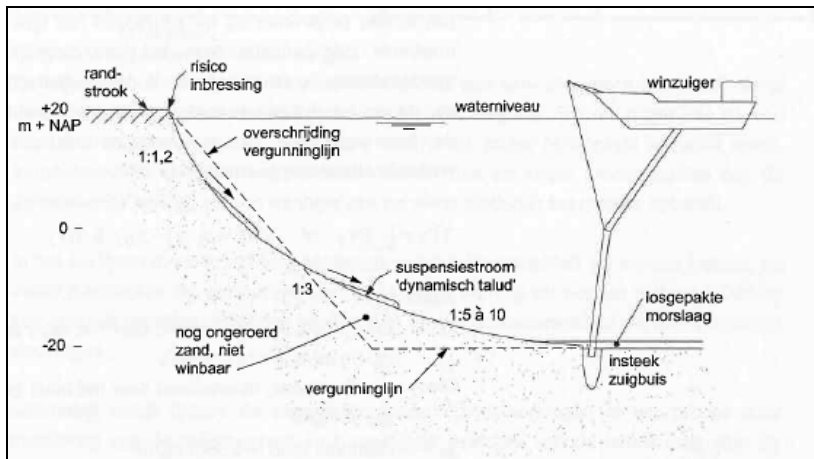
- Het zand op de taluds dient te worden opgezogen/gegraven in lagen evenwijdig aan de oever of banen vanuit het midden van de plas naar de oeverlijn toe, onder monitoring van taludhellingen,
- Er dient een constante zuigdiepte en verhaalsnelheid afgestemd op de putleverantie te worden gehandhaafd,
- Stoorlagen (klei) met dikten groter dan 0,5 m worden apart gebaggerd,
- Er dient van te voren een werkplan voor de uitvoering te worden vastgesteld,
- Het zuig- graafproces wordt continu gemonitord in x, y en z coördinaten

Om inzicht te krijgen met wat voor laagdikten (snedes) er moet worden gewerkt wanneer een winplan wordt toegepast bij uitvoering met een winzuiger en om inzicht te krijgen in een mogelijke taludontwikkeling wordt in deze rapportage gebruik gemaakt van het door Deltares ontwikkeld programma HMBREACH. Hier wordt in paragraaf 3.4.3 verder op ingegaan.



3.4.3 Taludontwikkeling tijdens het zand zuigen (winzuiger)

In deze paragraaf wordt ingegaan hoe het brestalud zich ruwweg zou kunnen ontwikkelen bij de uitvoering van het werk met een winzuiger. Naast de aspecten talud-instabiliteit, grondopbouw en verweking speelt ook de wijze van uitvoering een cruciale rol. Ten aanzien van de uitvoering en het materieel wordt ervan uitgegaan dat de winput wordt uitgevoerd met een winzuiger waarbij het zand onder natuurlijke wijze naar de zuigmond toestroomt, zie Figuur 8.



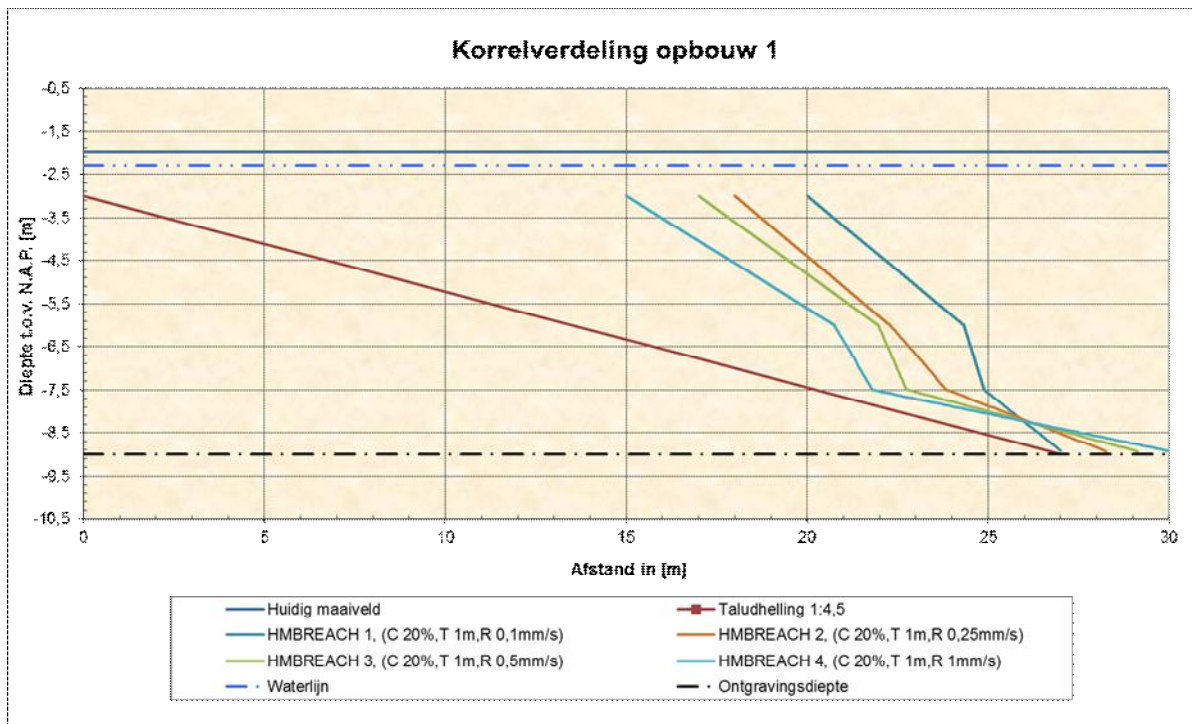
Figuur 8 - Schematische weergave taludontwikkeling (Bron: CUR113)

Taludontwikkeling tijdens het zuigen

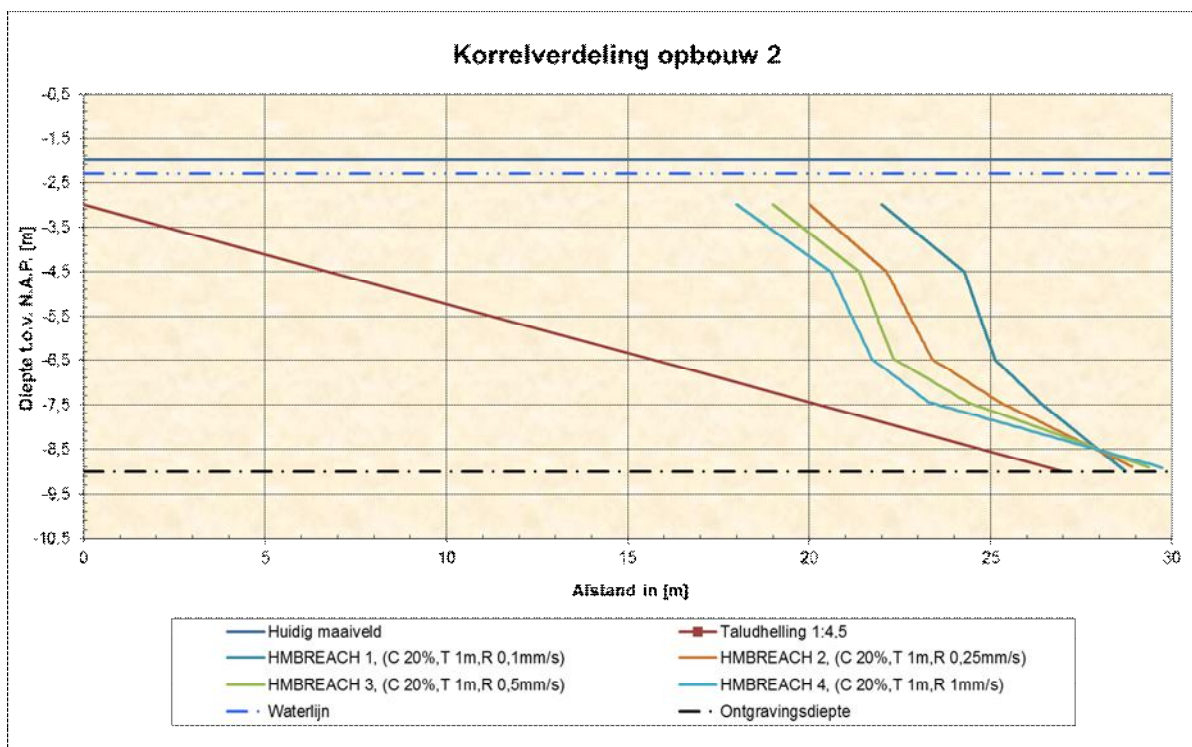
In Figuur 9 en Figuur 10 zijn voor de korrelverdeling opbouw 1 en 2 de resultaten weergegeven van de HMBreach berekeningen. Hierbij is het talud (zie paragraaf 3.4.1) met een helling van 1:4,5 weergegeven als een donker paarse lijn. De HMBreach lijnen geven het brestalud weer bij verschillende verhaalsnelheden (aangeduid met R 0,10mm/s). Hierbij valt op te maken dat de brestaluds flauwer worden naarmate de verhaalsnelheid (lees winproductie) wordt vergroot. De initiële insteekdiepte van de winzuiger is gesteld op 1 meter. Uit beide figuren is af te lezen dat bij een verhaalsnelheid van 1mm/s (oftewel 3,6km/uur) en een maximale insteekdiepte van 1 meter het brestalud tot een diepte van ongeveer N.A.P. -7,5m niet flauwer gaat staan dan het beschouwde talud van 1:3. Dieper gelegen zandpakket tot N.A.P. -9m geeft een flauwer brestalud dan de beschouwde 1:3. Hier zal het zand vervloeien tot een brestalud van ongeveer 1:4,3.

Naarmate het zand fijner is, is de doorlatendheid k kleiner is het initiële zanddebiet bijgevolg ook kleiner en zal er aanvankelijk minder bruto erosie optreden. Maar de bruto sedimentatie is ook kleiner, zodat het zand veel langer in suspensie blijft en waardoor de gevoeligheid voor bresvloeiing groter is.

Bij een eenvoudige beschouwing van de onderwatertaluds na het bressen wordt er bij een maximale verhaalsnelheid van 1mm/sec (oftewel 3,6 m/uur) en een maximale insteekdiepte van 1 meter een brestalud gevormd van ongeveer 1:2 tot een diepte van N.A.P. -7,5m welke steiler is dan 1:3 en dus niet door het beschouwde talud zal gaan. Vanaf een diepte N.A.P. -7,5m zal het brestalud flauwer zijn dan het beschouwde talud. Bij winning op volledige diepte moet een talud worden aangehouden van minimaal 1:4,3.



Figuur 9 - Brevloeiing korrelverdeling opbouw 1



Figuur 10 - Brevloeiing korrelverdeling opbouw 2



4 Risicobeschouwing

4.1 Eenvoudige risico analyse

In het voorgaande is op basis van het grondonderzoek een analyse uitgevoerd naar de faalmechanismen die tot een mogelijke oeverinscharing kunnen leiden. Vervolgens is op basis van de in de CUR aanbeveling 113 gestelde criteria (Tabel 4) een taludhelling bepaald die voldoende veilig is tegen de volgende faalmechanismen voor bodemopbouw 1 en 2:

- afschuiven;
- verweken;
- onbeheerst bressen (bresvloeiing).

Afschuiving

Voor het mechanisme afschuiving is de taludhelling bepaald op basis van de tabel 2b van de NEN 9997-1+C1 en een minimale veiligheid factor tegen afschuiven van 1,0 (paragraaf 3.2). Hierbij wordt een minimale taludhelling voorgeschreven van 1:3, waarbij wordt voldaan aan de afschuiving criteria.

Verwekingsvloeiing

De kans op verweken is geschat door de grondopbouw te onderzoeken op gepaktheid en het voorkomen van stoorlagen (paragraaf 3.4.1). Uit de analyse is gebleken dat de ondergrond in potentie gevoelig is voor verweken. Door in de uitvoering een taludhelling van minimaal 1:4,5 aan te houden kan de kans op verweking minimaal worden geacht. Hierbij wordt voldaan aan een combinatie van de verwekingsgevoeligheid-criterium en geometrie-criterium. Tevens mogen er zich geen permanente belendingen met bijzondere waarde binnen een afstand van 27 meter (3 x putdiepte) vanaf de insteek van de taludhelling bevinden.

Bresvloeiing

Voor een bresvloeiing is indicatief vastgesteld dat een taludhelling in combinatie met de grondopbouw leidt tot een grote kans op een onbeheerste bresvloeiing. Door middel van een bresmodel is de taludhelling berekend. De kans dat op een ongecontroleerde bresvloeiing een oeverinscharing tot gevolg heeft kan worden gereduceerd mits de methode van winnen is afgestemd op de voorwaarden zoals vermeld in paragraaf 3.4.3. Het risico op oeverinscharingen kan klein worden geacht als er zich geen permanente belendingen met bijzondere waarde binnen een afstand van 18 meter (2 x putdiepte) vanaf de insteek van de taludhelling bevinden.

Het risico van schade tijdens exploitatie van de zandwinning wordt klein geacht wanneer met een taludhelling van 1:4,5 wordt gewerkt en een additionele bandstrookbreedte van 27 meter voor zowel bodemopbouw 1 en 2.



5 Conclusies en aanbevelingen

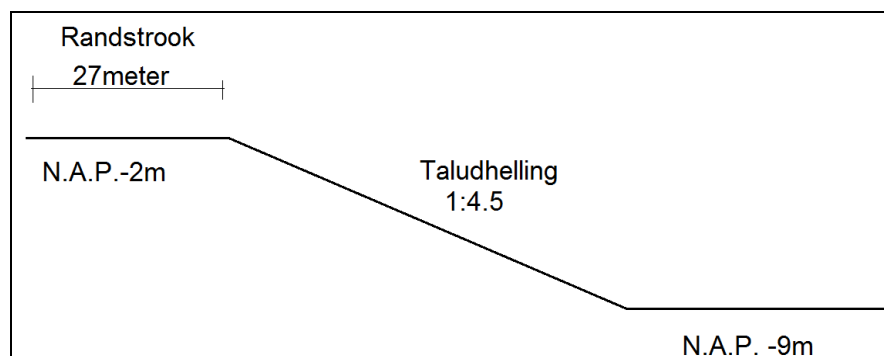
5.1 Conclusies

Uit de stabiliteitsanalyse wordt opgemaakt dat de voorgenomen zandwinning conform de CUR 113 kan worden gerealiseerd. Uit de analyse blijkt dat:

- De veiligheid tegen statische afschuiving bij bodemopbouw 1 en 2 kan worden gegarandeerd met een taludhelling van minimaal 1:3 tot een diepte van N.A.P. -9m,
- Lokaal kan het talud bij de insteek instabiel (micro-instabiliteit) worden wanneer er een bovenbelasting aanwezig is. Dit kan worden geminimaliseerd door een minimale afstand voor toepassing van bovenbelasting van 2,5 meter vanaf de insteek aan te houden,
- De kans op een onbeheerste bresvloeiing is zeer aanwezig en kan worden voorkomen wanneer een taludhelling wordt gehanteerd van minimaal 1:4,3 of wanneer de verhaalsnelheid niet meer is dan 0,25 mm/sec, de insteekdiepte niet groter is dan 1 meter, de aanwezige cohesieve laag apart wordt gebaggerd en in lagen van maximaal 5m wordt gebaggerd,
- De kans op verweking is zeer groot, maar kan worden verkleind wanneer een talud met een helling van circa 1:4,5 wordt aangehouden ter plaatse van de verwekingsgevoelige zandlagen.

Geconcludeerd mag worden dat wanneer een taludhelling van minimaal 1:4,5 wordt gehanteerd de stabiliteit van het talud rondom de voorgenomen zandwinning volgens de CUR-Aanbevelingen 113 gewaarborgd blijft.

Het risico op schade tijdens zandwinning met een taludhelling van 1:4,5 wordt klein geacht wanneer hier een additionele bandstrookbreedte rondom de zandwinning wordt toegepast van 27 meter vanaf de insteek van de taludhelling.



Figuur 11 - Geadviseerde dwarsdoorsnede



Om de risico's op onbeheerste bresvloeiingen te reduceren dient bij de uitvoering van de zandwinactiviteiten minimaal te worden voldaan aan de volgende de criteria:

- Het zand op de taluds dient te worden opgezogen in lagen evenwijdig aan de oever of banen vanuit het midden van de plas naar de oeverlijn toe, onder monitoring van taludhellingen;
- Er dient een constante zuigdiepte en een verhaalsnelheid die is afgestemd op de putleverantie te worden gehandhaafd;
- Stoorlagen met dikten groter dan 0.5m worden apart gebaggerd;
- Er dient van te voren een werkplan voor de uitvoering te worden vastgesteld;
- Het zuigproces wordt continu gemonitord.

5.2 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om voorafgaande aan de zandwinning een zandwinplan op te stellen, waarin de bevindingen van dit rapport praktisch worden vertaald naar een snedeplan.

Aanbevolen wordt om een veilige taludhelling van 1:4,5 te hanteren. Door optimalisatie kan deze taludhelling mogelijk flauwer worden ontworpen. Dit is in deze rapportage niet meegenomen.

Een beschouwing van aardbevingsgevoeligheid van het talud rondom de voorgenomen zandwinning wordt voor deze locatie nog niet voorgeschreven in de CUR113, maar is mogelijk wel van toepassing door de locatie van de voorgenomen zandwinning in het aardbevingsgevoelige gebied van de gaswinning.

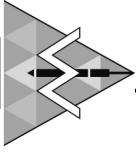
Analyse van de bodemopbouw laat zien dat er van N.A.P. -9m tot N.A.P. -14m zich een zandpakket bevindt bestaande uit grover ophoogzand dan bovenliggende laag. Aanbevolen wordt om de ontgravingsdiepte te vergroten naar ongeveer N.A.P.-14m en hierdoor een hogere kwaliteit aan zand te winnen en een grotere putproductie te realiseren.



Bijlage 1




Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS



Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

Phone
Fax

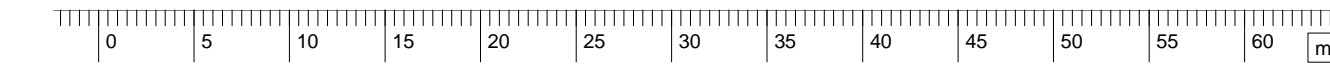
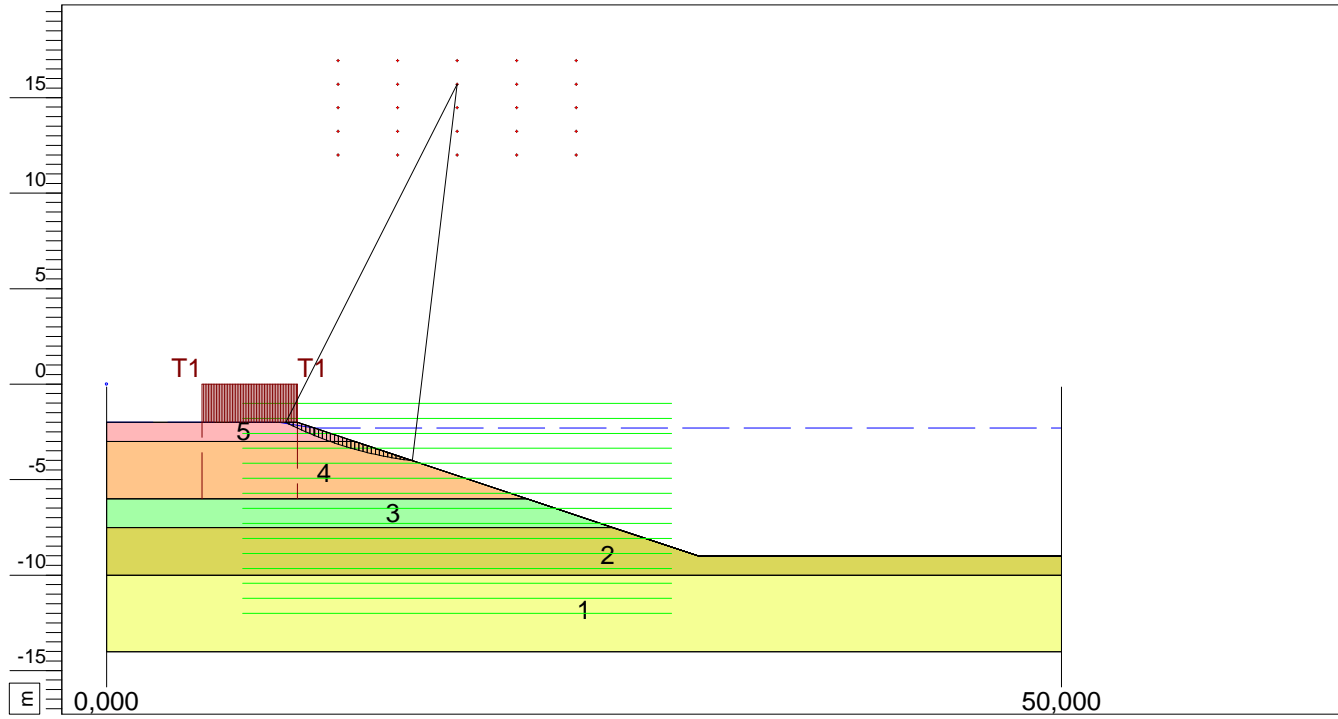
5-12-2014
date

D:Geo Stability 10.1 : Statische analyse 1-3 bodemopbouw 1.stl

Critical Circle Bishop

Layers

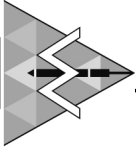
- 5. Zand, sterk siltig
- 4. Zand, zwak siltig
- 3. Klei, uiterst zandig
- 2. Zand, zwak siltig
- 1. Zand, zwak siltig



Xm : 18,35 [m] Radius : 19,85 [m]
 Ym : 15,71 [m] Safety : 1,08

Annex





Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

Phone
Fax

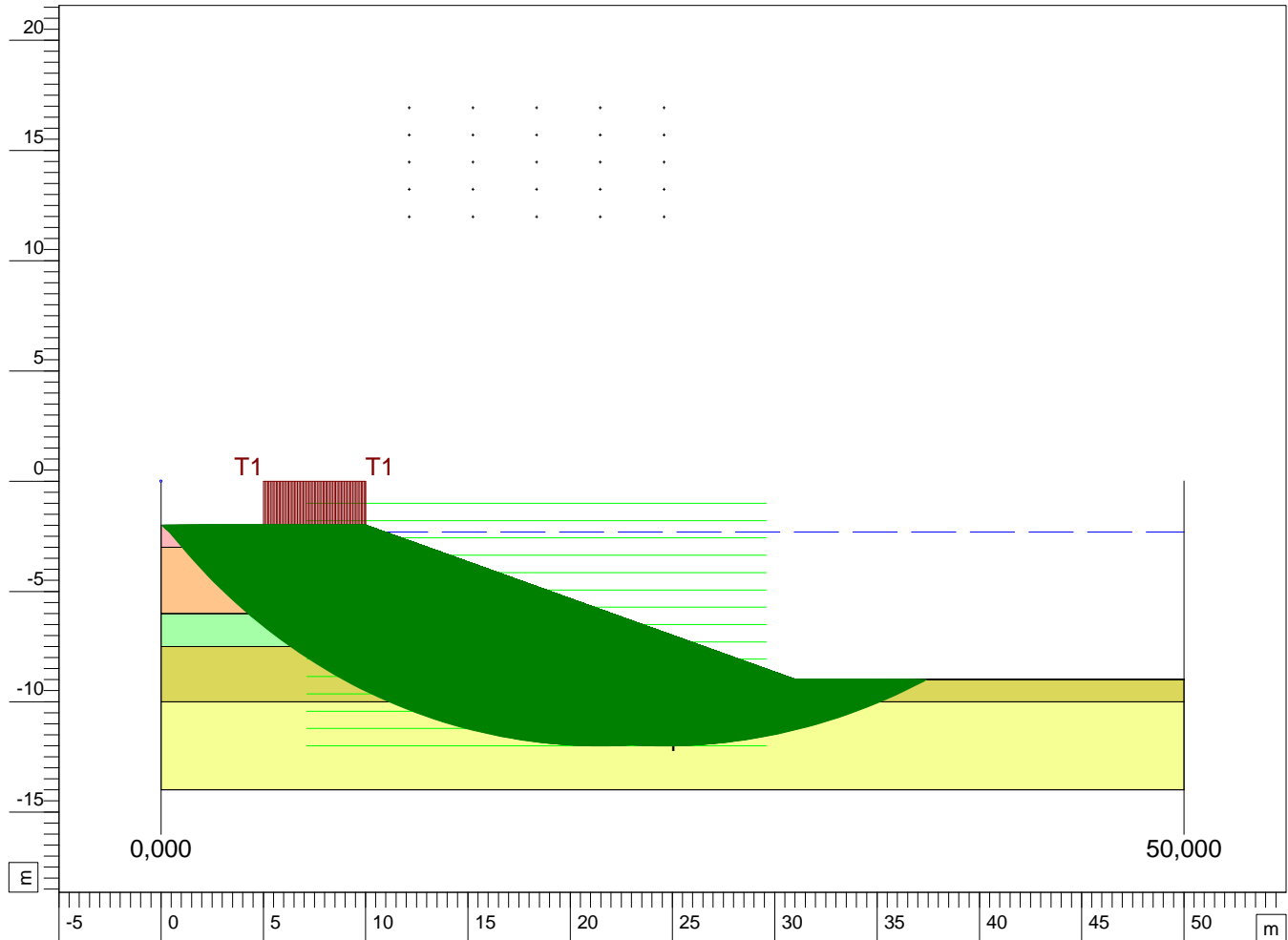
5-12-2014
date

Annex

AKKOORD
GEO

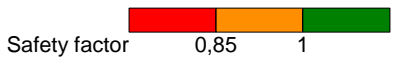
D:Geo Stability_10.1 : Statische analyse 1-3 bodemopbouw 1.stl

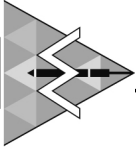
Safety Overview



Layers

- 5. Zand, sterk siltig
- 4. Zand, zwak siltig
- 3. Klei, uiterst zandig
- 2. Zand, zwak siltig
- 1. Zand, zwak siltig





Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

Phone
Fax

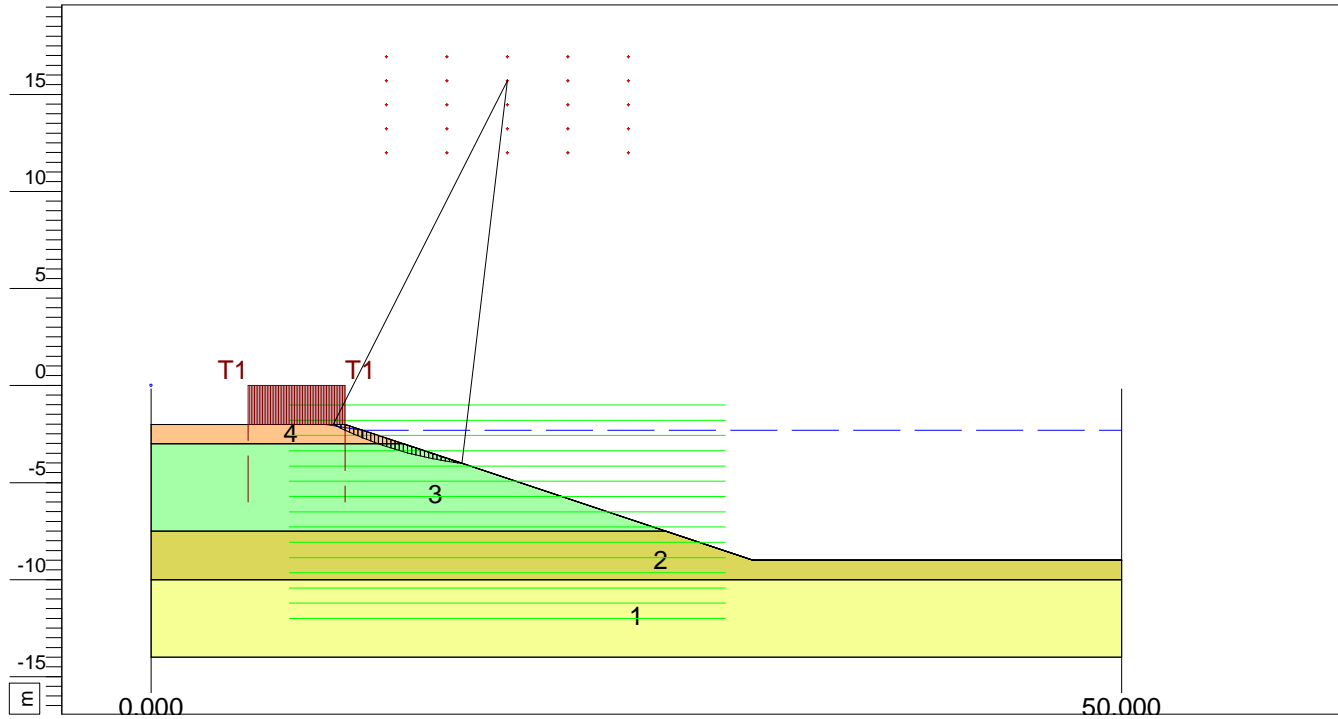
5-12-2014
date

D:Geo Stability_10.1 : Statische analyse 1-3 bodemopbouw 2.sil

Critical Circle Bishop

Layers

- 4. Zand, sterk siltig
- 3. Zand, zwak siltig
- 2. Zand, zwak siltig
- 1. Zand, zwak siltig

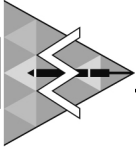


Xm : 18,35 [m]
Ym : 15,71 [m]

Radius : 19,85 [m]
Safety : 1,08

Annex

AKKOORD
GEO



Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

Phone
Fax

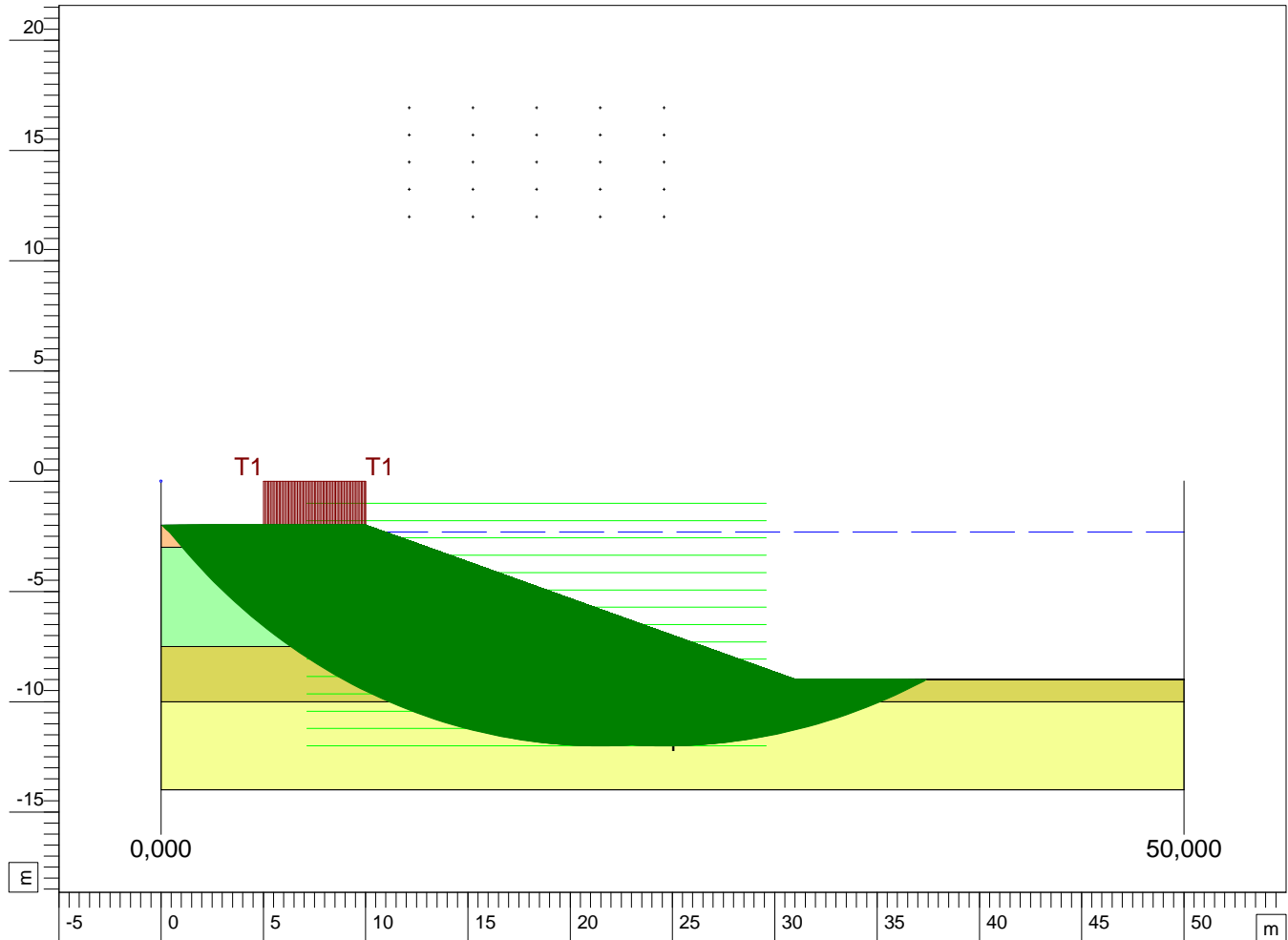
5-12-2014
date

Annex

AKKOORD
GEO

D:Geo Stability_10.1 : Statische analyse 1-3 bodemopbouw 2.stl

Safety Overview



- Layers
- 4. Zand, sterk siltig
 - 3. Zand, zwak siltig
 - 2. Zand, zwak siltig
 - 1. Zand, zwak siltig

