

RAPPORT  
betreffende

**BEOORDELING TALUDSTABILITEIT  
ZANDWINNING  
HETEREN**

Opdrachtnummer: 6004-0199-003

Opdrachtgever : Dekker Van de Kamp Landschapsonwikkeling B.V.  
Postbus 200  
6660 AE ELST

Projectleider : ir. L.W.A. Zwang

Opgesteld door : drs. C.C.M. Spoorenberg  
Senior Projectleider

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	27 januari 2011	Eerste versie	
2	18 februari 2011	Tweede versie	LWZ
3			

FILE: 6004-0199-003.R01.doc. Op deze rapportage zijn de algemene leveringsvoorwaarden van de V.O.T.B. van toepassing die een aansprakelijkheidsbeperking bevatten.

INHOUDSOPGAVE	<u>Blz.</u>
1. ALGEMENE TOELICHTING	1
1.1. Inleiding	1
1.2. Projectomschrijving	1
1.3. Doelstelling	1
2. UITGANGSPUNTEN	2
2.1. Geometrie	2
2.2. Grond- en laboratoriumonderzoek	2
2.3. Bodemopbouw	3
2.4. Geotechnische uitgangspunten	3
2.5. Geohydrologische uitgangspunten	4
2.6. Overige uitgangspunten	4
3. ANALYSE FAALMECHANISME AFSCHUIVING	5
3.1. Algemeen	5
3.1.1. Gronddepots, terrein- en aardbevingsbelastingen	5
3.1.2. Berekeningsmethode	6
3.2. Berekeningsresultaten	7
3.3. Conclusies eenvoudige beoordeling taludafschuiving	7
4. ANALYSE FAALMECHANISME VERWEKINGSVLOEIING	8
4.1. Algemeen	8
4.2. Criteria eenvoudige beoordeling verwekingsvloeiing	8
4.3. Verwekingsgevoeligheid bodemmateriaal	9
4.4. Verwekingsgevoeligheid aanvulmateriaal	9
4.5. Overige uitgangspunten	10
4.6. Eenvoudige beoordeling verwekingsvloeiing	10
4.6.1. Doorsnede 1	10
4.6.2. Doorsnede 2	11
4.6.3. Conclusie eenvoudige beoordeling verwekingsvloeiing	11
5. BRESVLOEIING	12
5.1. Algemeen	12
5.2. Beheerst bressen	12
5.3. Criteria eenvoudige beoordeling bresvloeiing	13
5.4. Eenvoudige beoordeling bresvloeiing	13
5.4.1. Conclusie eenvoudige beoordeling bresvloeiing	13
5.5. Gedetailleerde beoordeling bresvloeiing	14
5.5.1. Uitgangspunten	14
5.5.2. Berekeningsresultaten	15
5.5.3. Conclusies gedetailleerde beoordeling bresvloeiing	16
5.6. Conclusies en aanbevelingen bresvloeiing	16
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	17
6.1. Resultaten beoordeling ontwerpprofiel	17
6.2. Aanbevelingen terugstorten materiaal	17

BIJLAGEN

- Berekeningsresultaten MStab
- Gemiddelde korrelgrootte d50

Nr.

1-1 t/m 1-2  
2-1

---

## 1. ALGEMENE TOELICHTING

### 1.1. Inleiding

Op 11 november 2010 ontving Fugro Ingenieursbureau B.V. te Arnhem van Dekker Van de Kamp Landschapsontwikkeling B.V. te Elst de opdracht voor het opstellen van een advies omtrent de beoordeling van de taludstabiliteit van de uitbreiding van de zandwinningsput in de Randwijkse Waarden te Heteren.

Dit advies heeft als doel om vast te stellen of de taluds, zoals ontworpen door de opdrachtgever, voldoende stabiel zijn. Hiertoe zullen, conform CUR-richtlijn 113, drie faalmechanismen, te weten afschuiving, verwekingsvloeiing en bresvloeiing, beschouwd worden.

Niet beoordeeld zijn overige mechanismen die geen direct risico op inscharing geven, waaronder afkalving door golfslag.

Benadrukt wordt dat de invloed van de zandwininput op de omgeving buiten het kader van dit rapport valt. Hierbij kan gedacht worden aan de eventuele invloed op de primaire kering en hydrologische effecten op de omgeving.

Voor dit project is in een eerder stadium door Fugro Ingenieursbureau B.V. onder opdrachtnummer 6004-0199-001 grondonderzoek uitgevoerd bestaande uit 12 diepsonderingen en 10 boringen. In het laboratorium zijn korrelverdelingen van de boormonsters bepaald.

Voorliggend rapport bevat:

- een korte projectomschrijving;
- een omschrijving van de terrein- en bodemgesteldheid (hoofdstuk 2);
- een beoordeling van de taludstabiliteit (hoofdstuk 3);
- een beoordeling van het faalmechanisme verwekingsvloeiing (hoofdstuk 4);
- een beoordeling van het faalmechanisme bresvloeiing (hoofdstuk 5);
- het stabiliteitsadvies (hoofdstuk 6).

### 1.2. Projectomschrijving

Het project bestaat uit een uitbreiding van een bestaande zandwinning in de Randwijkse Waarden te Heteren. Ter plaatse van een gedeelte van de nieuwe zandwinning is al een zandwininput aanwezig. De nieuwe zandwininput betreft een westwaartse uitbreiding van de bestaande put. De nieuwe put heeft afmetingen van ca. 1200 \* 500 m en een beoogde diepte van circa 26 m. Het oorspronkelijk maaiveld ligt op circa NAP +8,0 m, de maximale ontgrondingsdiepte bedraagt NAP -18,0 m. De zandwininput zal tijdens de werkzaamheden in verbinding staan met de naastgelegen Nederrijn.

De bestaande zandwininput heeft afmetingen van circa 700 \* 350 m, de huidige diepte bedraagt NAP -12,0 à -20,0 m.

### 1.3. Doelstelling

Dit rapport is opgesteld conform CUR-Aanbeveling 113 en dient ter onderbouwing bij de vergunningaanvraag ten behoeve van de ontgroning bij het bevoegd gezag, de provincie Gelderland.

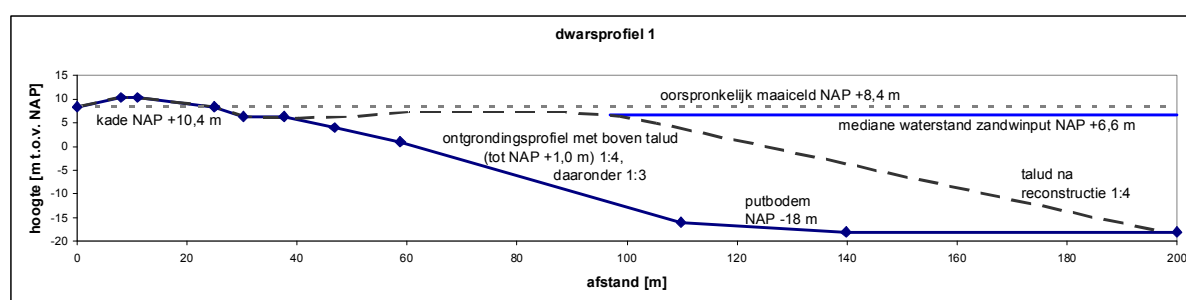
## 2. UITGANGSPUNTEN

### 2.1. Geometrie

Voor het beoordelen van de stabiliteit van het talud zijn twee doorsneden beschouwd. Het betreft een doorsnede met en zonder reconstructie (terugbrengen van de fijnere fractie). Het principe ontwerpprofiel bestaat uit een boventalud (tot NAP +1,0 m) met een taludhelling van 1:4, daaronder wordt een talud aangehouden van 1:3.

#### Doorsnede 1 (westzijde)

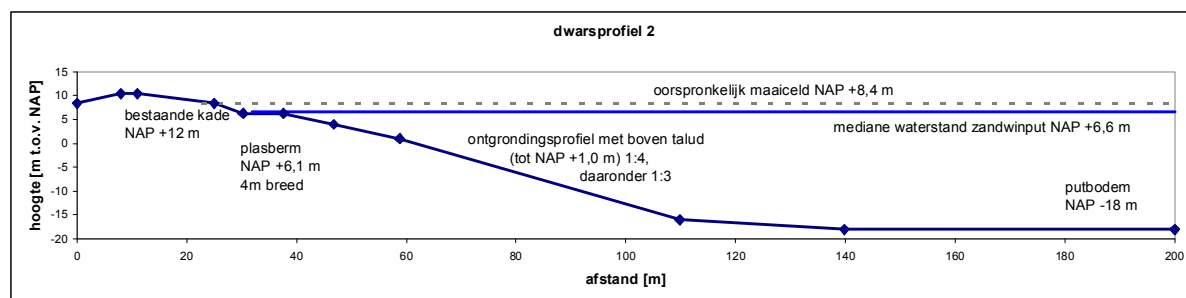
In de eindsituatie zal een aanvulling worden aangebracht. In het profiel zijn zowel de ontgraving als de herinrichting (aanvulling) van het talud aangegeven. Een schematische weergave van doorsnede 1 is gegeven in figuur 2-1.



figuur 2-1: Schets profiel 1

#### Doorsnede 2 (noordzijde)

. Een schematische weergave van de beschouwde doorsnede is gegeven in figuur 2-2.



figuur 2-2: Profiel 2

### 2.2. Grond- en laboratoriumonderzoek

Voor dit project is het volgende grondonderzoek beschikbaar:

- 5 diepsonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand (code DKM) tot circa 40 m diepte beneden maaiveld (NAP -30 à -34 m);
- 7 diepsonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand (code DKM) tot 25 à 30 m diepte beneden maaiveld (NAP -16 à -21 m);
- 3 mechanische boringen tot circa 10 m diepte (circa NAP -2 m);
- 7 mechanische boringen tot circa 30 m diepte (NAP -22 m);
- Geroerde monsters van iedere 0,5 m boring;
- Korrelverdelingen van mengmonsters over iedere 2,0 à 2,5 m boring.

Voor een beoordeling conform CUR 113 dient per 0,3 km à 0,5 km oever een sondering tot 1,5 maal de rekenputdiepte  $H_r$  te worden uitgevoerd. In dit geval komt dit voor de zandwinput neer op minimaal 5 sonderingen verspreid langs de oever van de put tot een diepte van NAP -37 m. In totaal zijn 5 sonderingen uitgevoerd tot een diepte van NAP -30 à -34 m. Desalniettemin acht Fugro dat het grondonderzoek tot voldoende diepte is uitgevoerd om toetsing conform CUR 113 mogelijk te maken. In alle sonderingen, ook de 7 sonderingen tot 30 m -mv, wordt op een diepte vanaf NAP -19,0 m keileem aangetroffen.

Voor een beoordeling conform CUR 113 dient per 0,3 km à 1,0 km oever een boring tot de putdiepte te worden uitgevoerd. In dit geval zijn in totaal 7 boringen tot ca. NAP -22 m uitgevoerd. De boringen zijn dus tot de putdiepte of dieper uitgevoerd, zodat aan de eis voldaan wordt. Van deze boringen zijn ook de vereiste korrelverdelingen bepaald.

### 2.3. Bodemopbouw

Op basis van het grondonderzoek kan de bodemgesteldheid globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 2-2 is weergegeven.

tabel 2-2: Globale bodemopbouw

Diepte bovenzijde laag [m t.o.v. NAP]	Bodembeschrijving
+8,5 à +7,5	<u>KLEI</u> , zwak zandig tot <u>ZAND</u> , met brokken klei, toplaag humeus
+7,0 à +5,0	<u>ZAND</u> , matig fijn tot matig grof, matig tot sterk siltig
+3,0 à -1,0	<u>ZAND</u> , matig fijn tot matig grof, grindhoudend, vastgepakt
-2,5 à -7,0	<u>ZAND</u> , matig tot uiterst grof, zwak siltig, zwak tot matig grindig, plaatselijk grindlagen
-14,5 à -19,0	<u>ZAND</u> , matig siltig, lokaal grind(houdende) lagen grote verschillen in gradering <sup>1)</sup>
-18,0 à -21,0	<u>LEEM</u> , zwak zandig, lokaal zandlaagjes (keileem)
-22,0 à -34,0	Maximaal verkende diepte boringen en sonderingen

1) de gradering van het zand varieert sterk in de verschillende boringen. Een algemene trend is een verfijning van de korrelgrootte met de diepte, van uiterst grof tot lokaal matig en zeer fijn. Zandlagen kunnen grindhoudend zijn, tevens kunnen lokaal grindlagen worden aangetroffen.

Met behulp van de Grondwaterkaart van Nederland en de resultaten van het bodemonderzoek is de ondergrond geohydrologisch geschematiseerd.

In de Grondwaterkaart van Nederland wordt de locatie benoemd als “stroomgordel afzettingen”. Regionaal gezien behoort het vanaf maaiveld aangetroffen kleipakket tot de holocene deklaag. De deklaag bestaat over het algemeen uit slecht doorlatende kleien en slihboudende zanden. Het bovenste deel van de onder de klei aangetroffen zanden (sterk siltig en met brokken klei) behoort mogelijk deels nog tot deze deklaag. Deze klei en het zandpakket behorend tot de deklaag wordt aangetroffen tot een diepte van ca. NAP +7,0 à +5,0 m. Het daaronder gelegen zandpakket behoort tot het eerste watervoerend pakket.

### 2.4. Geotechnische uitgangspunten

Op basis van de resultaten van het grondonderzoek en tabel 1 van NEN 6740:2006 zijn sterkteparameters voor de verschillende grondlagen afgeleid. Doorlatendheden zijn afgeleid uit SBR ‘Bemaling van bouwputten’.

tabel 2-3 Bodemopbouw en representatieve waarden parameters bodemprofiel

Grondlaag	Bovenkant laag [m t.o.v. NAP]	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	k [m/d]
<u>KLEI</u> , zwak zandig	m.v. (+7,5 à +8,5)	17/17	4	20	0,1
<u>ZAND</u> , matig tot sterk siltig	+7,0 à +5,0	18/20	1	26	1,0
<u>ZAND</u> , grindhoudend, vastgepakt	+3,0 à -1,0	19/21	0	32,5	10
<u>ZAND</u> , zwak tot matig grindhoudend	-2,5 à -7,0	19/21	0	32,5	10 à 100
<u>ZAND</u> , matig tot sterk siltig, lokaal grind	-14,5 à -19,0	19/21	4	20	1,0
<u>LEEM</u> , zandig, kleilig, tussenlagen	-18,0 à -21,0	19/19	3	22,5	0,1

Opmerkingen bij de tabel:

- $\gamma$  en  $\gamma_{\text{sat}}$  = volumiek gewicht; sat = verzadigd
- $c'$  = effectieve cohesie
- $\phi'$  = effectieve hoek van inwendige wrijving
- k = doorlatendheidscoëfficiënt

Rekenwaarden van de grondparameters zijn verkregen door de representatieve waarden te delen door de partiële factoren voor grondeigenschappen volgens tabel 3 van NEN 6740:2006.

Omdat gerekend wordt met rekenwaarden, dient de berekende stabiliteitsfactor te voldoen aan S.F. >1,0.

## 2.5. Geohydrologische uitgangspunten

De zandwinput zal in contact komen te staan met de Nederrijn. De waterstand in deze rivier ligt gemiddeld op ca. NAP +6,6 m. Het toetspeil ter plaatse van rivierkilometer 894 bedraagt NAP +12,4 m (HR2006, augustus 2007).

Voor de stabiliteit is de situatie waarbij tijdens een hoogwater verzadiging van het talud plaatsvindt, waarna de buitenwaterstand daalt na een hoogwater maatgevend. Op dit moment is de freatische grondwaterstand in het talud relatief hoog en de buitenwaterstand laag. In het VTV (2006) wordt aanbevolen om voor de val na hoogwater uit te gaan van de situatie na een val van 10 dagen.

Aangezien geen scheidende lagen zijn aangetroffen, is er vanuit gegaan dat er geen verschil tussen de stijghoogte in de verschillende lagen aanwezig is.

## 2.6. Overige uitgangspunten

Langs de oever zullen zomerkades worden aangebracht. Voor het modelleren van de kades zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Grondwaterstand onder de kade gelijk aan het huidige maaiveld;
- Bovenbelasting op de kades van 10 kN/m<sup>3</sup> over een breedte van 10 m;
- Wateroverspanningen in de slappe lagen onder de maatgevende grondwaterstand (direct na maatgevend hoogwater, dit resulteert in grondwaterstand op huidig maaiveld);
- Voor de geotechnische eigenschappen van het terug te storten materiaal is uitgegaan van het materiaal uit de toplaag.

### 3. ANALYSE FAALMECHANISME AFSCHUIVING

Onder een taludafschuiving, ofwel verlies aan macro-stabiliteit van een talud, wordt verstaan het statisch evenwichtsverlies van een grondmassa onder een helling, onder invloed van de aandrijvende kracht van het eigen gewicht en de maximaal mobiliseerbare afschuifweerstand langs potentiële diepe glijvlakken.

Opgemerkt moet worden dat naast de schade die ontstaat tengevolge van de afschuiving zelf, de afschuiving ook andere faalmechanismen kan inleiden.

In dit geval zal een eenvoudige beoordeling voor het faalmechanisme taludafschuiving worden uitgevoerd.

#### 3.1. Algemeen

Voor de eenvoudige beoordeling moet voldaan worden aan (alle van) de volgende drie voorwaarden:

- 1) Géén gronddepot of andere bovenbelasting langs de oever;
- 2) Géén slappe cohesieve lagen;
- 3) Helling flauwer dan 1:3.

Indien niet aan één of meerdere van bovenstaande voorwaarden wordt voldaan, dient een stabiliteitsberekening volgens de methode Bisshop, met grondparameters geschat volgens NEN 6740, te worden uitgevoerd.

In dit geval kan (lokaal) niet aan de bovenstaande eisen worden voldaan:

- 1) Ter plaatse van (een deel van) de zuidoever en de westoever is een bovenbelasting langs de oever van de zandwinning aanwezig;
- 2) Bovenin het profiel bevinden zich cohesieve grondlagen;
- 3) De ontwerphelling is niet flauwer dan 1:3.

Daarom zullen voor de eenvoudige beoordeling stabiliteitsberekeningen worden uitgevoerd.

#### 3.1.1. Gronddepots, terrein- en aardbevingsbelastingen

In de eindsituatie is een aardbevingsbelasting in rekening gebracht. De intensiteit is bepaald op basis van figure 2 uit Th. Crook (1996) 'A seismic zoning map conforming to Eurocode 8, and practical earthquake parameter relations for the Netherlands', Geologie en Mijnbouw 75: 11-18, 1996. Hieruit blijkt dat de projectlocatie in een gebied ligt waarvoor een horizontale piekversnelling van  $0,5 \text{ m/s}^2$  geldt bij een overschrijdingskans van 10% in een periode van 50 jaar. Deze ontwerpversnelling komt overeen met het betrouwbaarheidsniveau zoals beschreven in par. 2.1 van Eurocode 8, deel 1.

De invloed van deze versnelling zal, met behulp van de pseudo-statische methode conform par. 4.1.3.3 uit Eurocode 8, deel 5, in MStab worden verdisconteerd. De horizontale traagheidskracht op het grondmassief kan berekend worden volgens:

$$F_h = 0,5 \cdot \alpha \cdot S \cdot W$$

Waarin:

- $\alpha$ : ratio tussen de ontwerp grondversnelling ( $a_g$ ) en de gravitatieconstante ( $g$ );  
 $S$ : grondparameter volgens EN 1998-1:2004, par. 3.2.2.2;  
 $W$ : gewicht van de grondmassa



In dit geval geldt dat  $\alpha = 0,5 \text{ m/s}^2 / 9,8 \text{ m/s}^2 = 0,05$ . De grondparameter is in dit geval, conform tabel 3.3 uit Eurocode 8, deel 5, gelijk aan  $S = 1,5$ . Hierbij is er vanuit gegaan dat de magnitude  $M_s$  kleiner is dan 5,5 (Type 2 spectrum) en de bodem uit vast tot matig vast zand (Grondtype C) bestaat. De horizontale versnellingscoëfficiënt is in dit geval gelijk aan  $a_h = 0,5 \cdot \alpha \cdot S = 0,0375$ .

De verticale traagheidskracht op het grondmassief kan berekend worden volgens:

$$F_v = \pm 0,5 \cdot F_h \quad \text{als de ratio } a_{vg}/a_g \text{ groter dan } 0,6 \text{ is}$$

$$F_v = \pm 0,33 \cdot F_h \quad \text{als de ratio } a_{vg}/a_g \text{ kleiner dan } 0,6 \text{ is.}$$

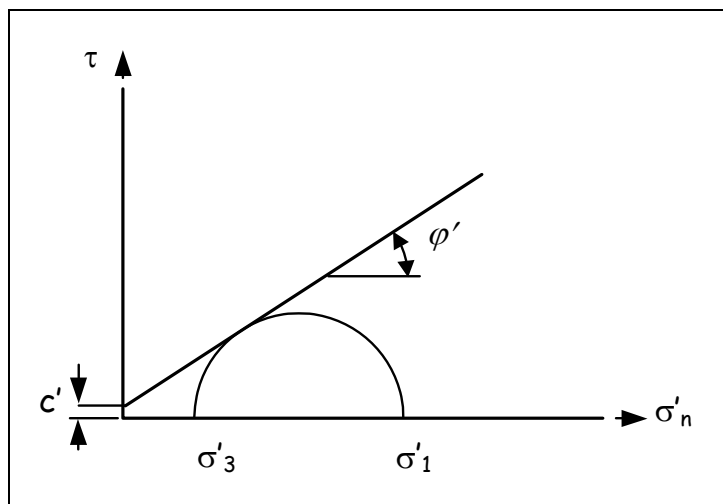
Voor een Type 2 spectrum bedraagt de verhouding  $a_{vg}/a_g$  volgens tabel 3.4 uit Eurocode 8, deel 1  $a_{vg}/a_g = 0,45$ . De verticale versnellingscoëfficiënt is in dit geval gelijk aan  $a_v = 0,33 \cdot a_h = 0,0124$ .

Aangezien een pseudo-statische verticale versnelling voor een lang talud een beperkte invloed op de stabiliteit van het talud heeft en verticale versnellingen (nog) niet goed in de gebruikte software (MStab v.9.10) kunnen worden gemodelleerd, is alleen de horizontale versnelling in rekening gebracht.

### 3.1.2. Berekeningsmethode

De stabiliteit van de ophogingen is geanalyseerd door het uitvoeren van glijvlakberekeningen volgens de vereenvoudigde methode Bishop met het computerprogramma MSTAB. Hierbij wordt de veiligheidsfactor van een grondmoot langs een cirkelvormig glijvlak berekend.

De ondergrond is verdeeld in een aantal lagen waarbij voor iedere laag het volume gewicht en de wrijvings eigenschappen (hoek van inwendige wrijving  $\phi'$  en de cohesie  $c'$ ) worden opgegeven, zie figuur 3-1. Deze parameters zijn o.a. bepaald aan de hand van interpretatie van het grond- en laboratoriumonderzoek alsmede aan de hand van ervaring. Bij de berekeningen zijn rekenwaarden van de grondparameters gebruikt.



figuur 3-1: schuifweerstand

Volgens NEN 6740:2006 dient de stabiliteitsfactor bij rekenwaarden van de grondparameters groter dan  $F.S. = 1,0$  te zijn.

### 3.2. Berekeningsresultaten

Uit de stabiliteitsberekeningen blijkt dat de silthoudende toplagen onder een talud van 1:4 ontgraven moeten worden. Dit talud dient veiligheidshalve tot NAP +4,0 m aangehouden te worden. Het daaronder gelegen talud is voldoende stabiel op het faalmechanisme afschuiving.

De stabiliteit tegen het optreden van een diepe glijcirkel in het te ontgraven talud is zeer groot ( $>1,4$ ). De stabiliteit ten aanzien van ondiepere (lokale) afschuiving is met  $>1,2$  ruim voldoende. De meest kritieke lagen bevinden zich rond NAP -5,0 m. De lagen zijn lokaal minder grofzandig van samenstelling.

Ook de stabiliteit van de aanvulling (reconstructie) is zeer goed op het faalmechanisme afschuiving. Wel dient zorg te worden besteed aan de uitvoering van deze aanvulling. Hier wordt in hoofdstuk 6 nader op ingegaan.

In tabel 3-1, en uitgebreider in bijlage 1, is een samenvatting van de resultaten van de stabiliteitsberekeningen gegeven.

*tabel 3-1: Samenvatting resultaten stabiliteitsberekeningen*

Doorsnede	Profiel	Situatie	Stabiliteitsfactor
1	Doorsnede 1 ontwerpprofiel	Uitvoering	$>1,0$
1	Doorsnede 1 reconstructie	Eindsituatie	$>1,0$
2	Doorsnede 2	Uitvoering en eind	$>1,0$

Uit tabel 3-1 blijkt dat alle doorsneden aan de stabiliteitseis voldoen, dit geldt zowel voor de uitvoeringssituatie als de eindsituatie.

### 3.3. Conclusies eenvoudige beoordeling taludafschuiving

Uit de eenvoudige beoordeling van het faalmechanisme taludafschuiving blijkt dat ontwerptalud van de zandwininput inclusief kades voldoende stabiel is. Doorsnede 1 en 2 zijn gedurende de uitvoering voldoende stabiel voor het faalmechanisme taludafschuiving. Doorsnede 2 voldoet in de eindsituatie (na reconstructie) eveneens aan de stabiliteitseis van  $>1,0$ .

## 4. ANALYSE FAALMECHANISME VERWEKINGSVLOEIING

### 4.1. Algemeen

De term verwekingsvloeiing kan worden omschreven als een verschijnsel waarbij een verzadigd pakket losgepakt zand plotseling verweekt: er ontstaat een soort drijfzand. Verweking impliceert een dramatische vermindering van het onderlinge contact tussen de zandkorrels en van de schuifsterkte van het zandlichaam. Als het zandpakket oorspronkelijk in een helling aanwezig is, dan zal de verweekte massa naar beneden vloeien en pas weer onder een zeer flauwe helling tot rust komen. De mate van verweking waarbij de zandkorrels in het geheel geen onderling contact meer hebben (volledige verweking), treedt niet zo vaak op. Maar gedeeltelijke verweking kan het vermogen van het zand om schuifspanning op te nemen al zodanig doen verminderen dat het talud instabiel wordt en er een grote massa zand naar beneden vloeit.

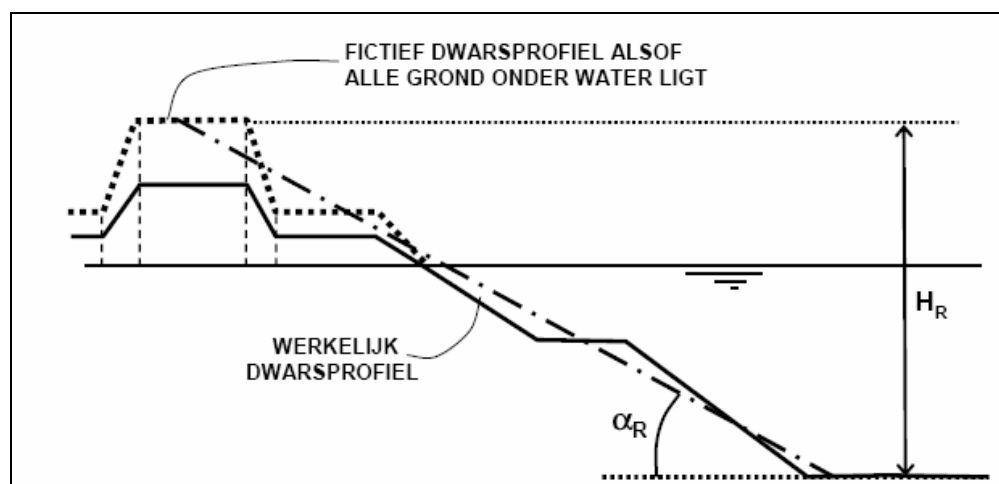
Als de verweking aan de teen van het talud begint, zal het zand eerst daar wegvloeien. Doordat de steun van de teen dan verloren gaat, is de kans groot dat ook hoger gelegen delen instabiel worden. Op deze wijze ontstaat een terugschrijdend proces, zoals dat in de praktijk wordt geconstateerd.

### 4.2. Criteria eenvoudige beoordeling verwekingsvloeiing

De beoordeling van het faalmechanisme verwekingsvloeiing kan op verschillende detail niveaus worden uitgevoerd. In eerste instantie wordt aanbevolen om een eenvoudige beoordeling uit te voeren. Deze eenvoudige beoordeling kan worden uitgevoerd volgens één van de volgende drie methoden:

1. Alleen het verwekingsgevoeligheid-criterium wordt beschouwd. De kans op het optreden van een verwekingsvloeiing is verwaarloosbaar als voor alle sonderingen geldt dat er geen losgepakte lagen met een relatieve dichtheid lager dan 50% aanwezig zijn, die dikker zijn dan 1 m.
2. Alleen het geometrie-criterium wordt beschouwd. De kans op het optreden van verwekingsvloeiing is verwaarloosbaar als de rekentaludhelling  $\alpha_R$  flauwer is dan  $1 : 7(H_R/30 \text{ m})^{1/3}$ , waarbij  $H_R$  de rekenputdiepte is.
3. Er wordt een combinatie van het verwekingsgevoeligheid-criterium en het geometrie-criterium beschouwd. De maximaal toelaatbare dikte van de losgepakte lagen is vergroot tot 3 m en het geometriecriterium is verruimd tot de eis dat de rekentaludhelling  $\alpha_R$  flauwer moet zijn dan  $1 : 4(H_R/30 \text{ m})^{1/3}$ .

De definities van de rekenputdiepte  $H_R$  en de rekentaludhelling  $\alpha_R$  zijn weergegeven in figuur 4-1.



figuur 4-1: Fictief onderwaterdwarsprofiel, definitie van rekenputdiepte en rekentaludhelling

### 4.3. Verwekingsgevoeligheid bodemmateriaal

Op basis van de uitgevoerde sonderingen is de relatieve dichtheid van het bodemmateriaal bepaald, zie bijlage 2. Op basis van hiervan is de verwekingsgevoeligheid van de bodemlagen onderzocht. Volgens CUR 113 is de relatieve dichtheid  $R_{n1}$  en/of  $R_{n3}$  van invloed op de verwekingsgevoeligheid van een talud. Voor alle beschikbare sonderingen zijn de lagen bepaald waarvoor geldt dat:

- de relatieve dichtheid gemiddeld over een dikte van 1 m kleiner is dan 50% ( $R_{n1} < 0,5$ );
- de relatieve dichtheid gemiddeld over een dikte van 3 m kleiner is dan 50% ( $R_{n3} < 0,5$ ).

In tabel 4-1 zijn de lagen weergegeven waarvan de relatieve dichtheid  $R_{n1}$  kleiner is dan 50%.

tabel 4-1: Lagen met een relatieve dichtheid  $R_{n1}$  kleiner dan 50%

Sondering	Bovenkant laag [m t.o.v. NAP]	Relatieve dichtheid $R_{n1}$ [-]
DKM7	-12,7	0,25

Opgemerkt wordt dat deze sondering in het midden van de put ligt. In de langs de taluds gelegen sonderingen zijn geen lagen aangetroffen met een relatieve dichtheid  $R_{n1}$  kleiner dan 50%. Er zijn geen lagen aangetroffen waarvoor geldt dat de relatieve dichtheid  $R_{n3}$  kleiner is dan 50%.

### 4.4. Verwekingsgevoeligheid aanvulmateriaal

Ter plaatse van doorsnede 1 zal een aanvulling worden aangebracht. De aanvulling zal bestaan uit materiaal dat uit de winning<sup>1</sup> zelf komt. Voor deze doorsnede is de kans op het optreden van verwekingsvloeiing afhankelijk van de kwaliteit van het teruggestorte materiaal en de wijze van uitvoering. Zoals hiervoor is beschreven is met name de relatieve dichtheid van het aanvulmateriaal van belang. De relatieve dichtheid kan bepaald worden uit sondeerresultaten, welke in dit stadium logischerwijs niet voor het nog aan te brengen materiaal beschikbaar zijn. Het is echter wel mogelijk om een inschatting van de verwekingsgevoeligheid van het aanvulmateriaal na het aanbrenge hiervan te maken.

<sup>1</sup> Dit materiaal zal een zee fractie van het gewonnen zand uit de zandwinput omvatten. Er zal geen materiaal van elders worden aangevoerd.

De doorlatendheid, korrelvorm, gradatie, verzadiging en verdichting van het zand zijn van invloed op de verwekingsgevoeligheid. Over het algemeen geldt dat een relatief lage doorlatendheid, ronde korrelvorm, slechte gradatie, verzadiging en slechte verdichting leiden tot een hogere verwekingsgevoeligheid van het zand.

Er is van uitgegaan dat het aanvulmateriaal van onderaf zal worden aangebracht. Daarnaast bevindt het grootste gedeelte van het talud zich onder water, ofwel in de verzadigde zone. Hieruit kan worden opgemaakt dat het zand na aanbrengen waarschijnlijk verwekingsgevoelig is ( $R_{n3} < 0,5$ ).

Aanbevolen wordt om dusdanige uitvoeringsmaatregelen te treffen dat dit risico geminimaliseerd wordt. Hierop wordt in hoofdstuk 6 nader ingegaan.

#### 4.5. Overige uitgangspunten

Voor de beoordeling van het faalmechanisme verwekingsvloeiing zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Geometrie conform doorsneden 1 en 2, zie subparagraaf 2.1;
- Initiatie verwekingsvloeiing (bijv. bresproces of aardbeving) treedt op bij een lage waterstand in de put op NAP +6,6 m;
- Bepaling relatieve dichtheid met de correlatie volgens Baldi.

#### 4.6. Eenvoudige beoordeling verwekingsvloeiing

##### 4.6.1. Doorsnede 1

Ter plaatse van doorsnede 1 (westoever) wordt voor alle sonderingen aan de relatieve dichtheidseis  $R_{n1} < 0,5$  voldaan. Derhalve worden geen eisen aan de taludhelling gesteld.

In de eindsituatie zal de put deels worden opgevuld met materiaal. Voor het aanvulmateriaal is er van uitgegaan dat dit niet voldoet aan de relatieve dichtheidseis  $R_{n3} < 0,5$ . Vanaf de onderkant van de diepste verwekingsgevoelige laag (ongrondingsdiepte NAP -18 m) wordt derhalve conform methode 2 een eis aan de rekentaludhelling gesteld, namelijk  $\alpha_R < 1:7(H_R/30 \text{ m})^{1/3}$ .

In tabel 4-2 is de minimaal vereiste rekentaludhelling voor doorsnede 1 gegeven in zowel de uitvoerings- als de eindsituatie.

tabel 4-2: Minimaal vereiste rekentaludhelling doorsnede 1 eindsituatie

Doorsnede	Situatie	Maaiveldniveau* [m t.o.v. NAP]	Waterniveau [m t.o.v. NAP]	Fictieve putbodem [m t.o.v. NAP]	$H_r$ [m]	$A_{crit}$ [-]	$A_R$ [-]
1	Eindsituatie	+10,4	+6,6	-18	23,5	1:4,0	1:6,4

\* In de beoordeling op verwekingsvloeiing moeten de aan te leggen kaden ook worden meegenomen. Hiertoe wordt het maaiveldniveau ter plaatse van de kaden (NAP +10,4 m) beoordeeld en niet de maaiveldhoogte rond de put. Deze bedraagt NAP +8,0 m.

Uit tabel 4-2 blijkt dat de rekentaludhelling boven een niveau van NAP -18 m flauwer moet zijn dan 1:4,0. De rekenkundige taludhelling bedraagt 1:6,4. Derhalve is doorsnede 2b voldoende veilig met betrekking tot het faalmechanisme verwekingsvloeiing.

#### **4.6.2. Doorsnede 2**

Ter plaatse van doorsnede 2 (noordoever) wordt voor alle sonderingen aan de relatieve dichtheidseis  $R_{n1} < 0,5$  voldaan. Derhalve worden geen eisen aan de taludhelling gesteld vanuit het faalmechanisme verwekingsvloeiing.

#### **4.6.3. Conclusie eenvoudige beoordeling verwekingsvloeiing**

Uit de eenvoudige beoordeling van het faalmechanisme verwekingsvloeiing blijken doorsnede 1 en 2 te voldoen aan de eisen uit CUR 113.

Met betrekking tot het terug te brengen materiaal wordt geconcludeerd dat het faalmechanisme verwekingsvloeiing niet op voorhand kan worden beoordeeld. Omdat het risico op het ontstaan van verwekingsvloeiing bij terug brengen in zekere mate afhangt van de uitvoeringswijze, wordt voorgesteld om dit faalmechanisme met behulp van en monitoring te bewaken. Dit is nader toegelicht in paragraaf 6.2.

Merk op dat andere faalmechanismen maatgevend kunnen zijn voor de beoordeling van de taludstabiliteit. Hier wordt in hoofdstuk 6 nader op ingegaan.

## 5. BRESVLOEIING

### 5.1. Algemeen

Onder bresvloeiing verstaan we een autonoom terugschrijdend erosieproces door een zand-water suspensiestroom op een onderwaterhelling dat uiteindelijk tot een oeverinscharing kan leiden.

### 5.2. Beheerst bressen

De omstandigheden waaronder beheerst bressen met een stationaire taludontwikkeling mogelijk is, zijn met de huidige kennis goed bekend. Afhankelijk van de bodemsamenstelling is het vervolgens mogelijk om op een eenvoudige, dan wel meer gedetailleerde of geavanceerde methode deze taludontwikkeling te voorspellen.

Er wordt in de analyse van bresvloeiing uitgegaan van een beheerst bresproces. Voor een beheerst bresproces dient te worden voldaan aan de volgende voorwaarden:

- er treedt geen afschuiving op (zie hoofdstuk 3);
- er zijn geen lagen die kunnen verweken (zie hoofdstuk 4);
- de grond bestaat uit silt, zand of grind, ofwel uit niet-cohesief, bressend materiaal;
- er bestaat een horizontale laagopbouw van de grond;
- de dikte van stoorlagen van klei of veen bedraagt ten hoogste 0,5 m.

Uitgaande dat de aanbevelingen ten aanzien van taludhellingen uit hoofdstuk 3 en 4 worden opgevolgd, kan alleen niet aan de voorwaarde worden voldaan dat stoorlagen van klei of veen ten hoogste 0,5 m mogen bedragen. Op veel locaties in het projectgebied bestaat de toplaag tot ca. NAP +7,0 à +6,0 m uit cohesief materiaal. Deze laag dient met geschikt materiaal verwijderd te worden, voordat met het bressen wordt aangevangen.

Ten aanzien van de uitvoering en het materieel dient aan de volgende voorwaarden te worden voldaan, in ieder geval wanneer gezogen wordt langs de oevers:

- er wordt gebruik gemaakt van natte ontgraving met het natuurlijk toestromen van zand naar de zuigmond;
- er wordt een constante zuigdiepte en verhaalsnelheid gehandhaafd;
- stoorlagen met een dikte groter dan 0,5 m worden verwijderd met daartoe geschikt materieel;
- er wordt van te voren een werkplan voor de uitvoering vastgesteld;
- het zand wordt gezogen in lagen evenwijdig aan de oever of banen vanuit het midden van de plas naar de oeverlijn toe, onder monitoring van taludsteilten.

Daarnaast wordt aanbevolen tijdens de uitvoering rekening te houden met de volgende aspecten:

- aanbevolen wordt om bij de keuze van het type en capaciteit van de zuiger (de maximale zuigproductie) deze zo goed mogelijk af te stemmen op de gewenste taludproductie;
- om informatie over taludvorming te verkrijgen wordt geadviseerd om vanuit het midden van de zandwinlocatie naar de oevers te werken;
- Door in evenwijdige stroken steeds dichter langs de oever te werken, op steeds dezelfde zuigdiepte, kan worden nagegaan of de vastgestelde ontwerptaludlijnen ook daadwerkelijk worden gerealiseerd;
- Nadat een laag is gezogen en de te handhaven taludlijn is bereikt mag het gevormde talud niet meer verstoord worden met het baggerwerktuig, ook al ligt het zand plaatselijk

nog boven het toegestane profiel. Dit zogenoemde afwerken van het talud wordt afgeraden, omdat hiermee een onbeheerst bresproces in gang gezet kan worden.

Om te kunnen vaststellen dat er inderdaad sprake is van een stationair beheerst bresproces, zijn de volgende maatregelen met betrekking tot de controle van de uitvoering benodigd:

- het zuigproces wordt continu gemonitord (positie zuigmond en productie);
- de gezogen taluds worden regelmatig gepeild.

Zoals eerder opgemerkt wordt er in de beschouwing van bresvloeiing uitgegaan van een beheerst bresproces. De opdrachtgever dient er derhalve zorg voor te dragen dat aan bovengenoemde eisen wordt voldaan.

### **5.3. Criteria eenvoudige beoordeling bresvloeiing**

Voor een eenvoudige beoordeling op het mechanisme bresvloeiing conform CUR 113 dient voldaan te worden aan (alle) vijf voorwaarden:

- 1) dikke stoorlagen (>1 m), indien aanwezig, worden met geschikt materieel verwijderd;
- 2) zand is grof genoeg: gemiddeld over 5 m of minder  $d_{50} > 200 \mu\text{m}$  en  $d_{15} > 100 \mu\text{m}$ ;
- 3) er wordt van te voren een werkplan voor de uitvoering vastgesteld;
- 4) zuigproces wordt beheerst door monitoring van de positie van de zuigbuis en productie;
- 5) gezogen taluds worden regelmatig (zo frequent dat de taludvorm voortdurend bekend is, met een nauwkeurigheid van ongeveer 0,5 m verticaal) gepeild.

### **5.4. Eenvoudige beoordeling bresvloeiing**

Op een aantal sondeerlocaties is hier tot ca. NAP +7,0 à +3,0 m een cohesieve toplaag of cohesieve stoorlagen met een dikte van > 0,5 m aangetroffen. Deze laag dient met geschikt materiaal verwijderd te worden, voordat met het bressen wordt aangevangen. Deze voorwaarde dient door de opdrachtgever geborgd te worden en vormt hierna een uitgangspunt voor de verdere analyse. Voorwaarden 3, 4 en 5 hebben betrekking op de uitvoering van het zandwinproces. Deze voorwaarden dienen eveneens door de opdrachtgever gewaarborgd te worden.

In bijlage 2 is voor de beschikbare boringen respectievelijk het verloop van  $d_{50}$  en  $d_{15}$  met de diepte weergegeven. Hieruit blijkt dat de  $d_{50}$ , gemiddeld over 5 m of minder, vanaf een diepte van ca. NAP +3 m groter dan 200  $\mu\text{m}$  bedraagt. De  $d_{15}$ , gemiddeld over 5 m of minder, is vanaf een diepte van ca. NAP +3 m eveneens groter dan 100  $\mu\text{m}$ .

De geplande diepte van de zandwinput is ca. NAP -18,0 m. Vanaf een diepte van NAP -14,5 tot -18,0 m wordt het zand fijnkorreliger.

Dit betekent dat over de gehele diepte, tot de maximale ontgrondingsdiepte, aan alle criteria voldaan wordt. Voor het gehele talud kan daarom een eenvoudige beoordeling worden uitgevoerd. Uitgaande van een maaiveldniveau ter plaatse van de naast de put aan te leggen kaden van NAP +10,4 m, dient de gemiddelde taludhelling volgens de eenvoudige beoordeling gelijk aan (of flauwer dan) 1:4 (v:h) te zijn. Hieraan wordt niet voldaan.

Daarnaast wordt niet voldaan aan de lokale hellingen per 5 m diepte conform tabel 2a uit de CUR aanbeveling 113.

#### **5.4.1. Conclusie eenvoudige beoordeling bresvloeiing**

Uit de eenvoudige beoordeling van het faalmechanisme bresvloeiing blijkt dat doorsnede 1 en 2 niet voldaan wordt aan de eenvoudige beoordeling. Volgens de eenvoudige beoordeling



dient een taludhelling 1:4 (v:h) te worden gehanteerd. Ook aan de eisen voor de lokale taludhelling voor de eenvoudige beoordeling wordt niet voldaan. In de eindsituatie (na reconstructie) voldoet doorsnede 1 wel een de eenvoudige beoordeling voor bresvloeiing.

Omdat onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om de bestaande zandwininput als praktijkproef te gebruiken, is een gedetailleerde analyse van het faalmechanisme bresvloeiing uitgevoerd.

### **5.5. Gedetailleerde beoordeling bresvloeiing**

Voor een gedetailleerde beoordeling van bresvloeiing dient voldaan te worden aan (alle) vier voorwaarden:

- 1) dikke stoorlagen (>1 m), indien aanwezig, worden met geschikt materieel verwijderd;
- 2) er wordt van te voren een werkplan voor de uitvoering vastgesteld;
- 3) zuigproces wordt beheerst door monitoring van de positie van de zuigbuis en productie;
- 4) gezogen taluds worden regelmatig (zo frequent dat de taludvorm voortdurend bekend is, met een nauwkeurigheid van ongeveer 0,5 m verticaal) gepeild.

Deze vier zijn in paragraaf 5.3 reeds aan de orde geweest. Al deze voorwaarden hebben betrekking op de uitvoering van het zandwinproces. In het vervolg zal er vanuit worden gegaan dat deze voorwaarden door de opdrachtgever gewaarborgd worden.

Indien aan de eerder genoemde voorwaarden wordt voldaan, dan is het toegestaan om de taludhelling (eventueel inclusief bermen) te berekenen met behulp van een bresmodel op basis van boringen of doormiddel van een praktijkproef aan te tonen dat het talud stabiel is.

In dit geval zal met behulp van het bresmodel HMBreach, ontwikkeld door Deltares (binnen Delft Cluster waar Fugro participant in is) de taludhelling worden berekend. In analogie met het beleid van de provincie wordt geadviseerd de winning vanaf de randen uit te voeren omdat het volume dat dan kan wegstromen beperkt wordt. Wel wordt geadviseerd om vanuit het midden van de zandwinlocatie te starten en vervolgens langs de randen verder te werken. Dit om informatie over taludvorming te verkrijgen en het berekende talud te verifiëren. Tevens wordt voorkomen dat men de zuigbuis te ver in het talud steekt, wat risico's geeft voor bresvloeiing

#### **5.5.1. Uitgangspunten**

Voor de berekeningen worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

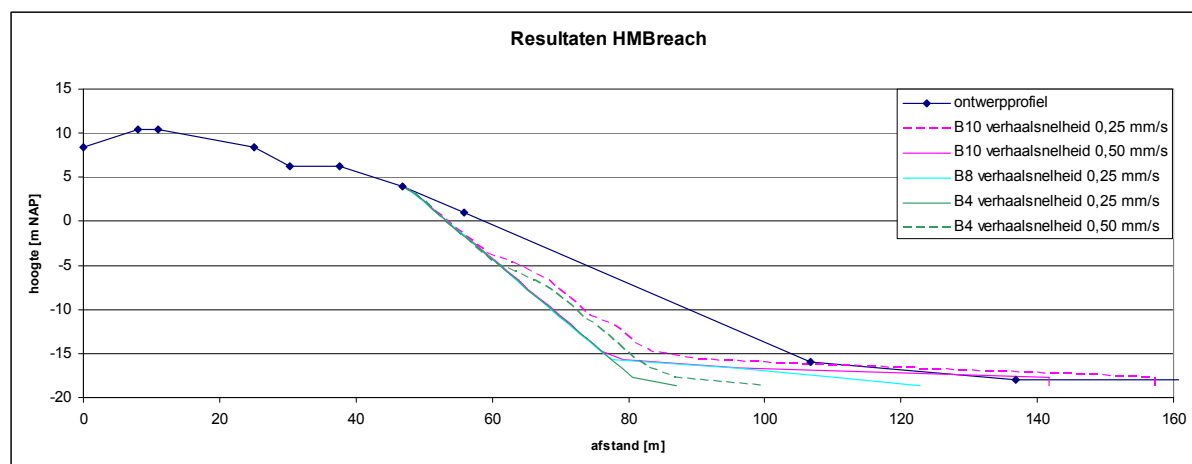
- Gedetailleerde beoordeling conform CUR 113;
- Geometrie conform subparagraaf 2.1, de berekening is uitgevoerd voor 3 boringen (B4, B8 en B10) voor respectievelijk het zuidelijk, het westelijk en het noordelijk talud;
- Waterlijn op NAP +6,6 m;
- Lagen boven de waterlijn worden op een andere wijze dan bressen verwijderd. Na het verwijderen van deze lagen is er sprake van een natte zandwinning doormiddel van bressen. Voor het bresproces is derhalve uitgegaan van een natte zandwinning. Merk op dat lagen boven de grondwaterstand over het algemeen in meer of mindere mate cohesief zijn en derhalve niet geschikt zijn om door middel van bressen te verwijderen;
- De  $d_{50}$  en  $d_{15}$  is bepaald op basis van de korrelverdelingen van de gemengde monsters over 2 m. De  $d_{50}$  en  $d_{15}$  zijn in bijlage 2 als functie van de diepte weergegeven;

- De porositeit is bepaald op basis van de relatie met het poriën getal en de relatieve dichtheid:  $n = e / (1+e)$ , waarin  $e = e_{\max} - RD \cdot (e_{\max} - e_{\min})$ . Hierbij is de relatieve dichtheid RD uit de sonderingen bepaald met de correlatie volgens Lunne (1997). Aangezien geen dichtheidsproeven zijn uitgevoerd, is voor de het maximaal te bereiken poriën getal een waarde van  $e_{\max} = 0,8$ , en voor de minimaal te bereiken waarde van het poriën getal een waarde  $e_{\min} = 0,4$  gehanteerd;
- Berekening van de evenwichtstaludhelling wordt uitgevoerd met de module BREACH van het programma HMBreach;
- De berekeningen worden uitgevoerd per meter breedte waarover het zand-water mengsel langs het talud stroomt.

### 5.5.2. Berekeningsresultaten

Met behulp van de BREACH module van het software programma HMBreach is voor een stationair zuigproces met een (gemiddelde) verhaal snelheid van 0,25 en 0,50 mm/s van de zuigbuis loodrecht op of parallel aan de oever de resulterende evenwichtstaludvorm berekend. Bij een aangenomen meewerkende breedte van de bres van 3 m resulteert dit in een taludproductie van maximaal 100 m<sup>3</sup>/uur.

De berekeningsresultaten zijn in figuur 5-1 voor de verschillende boringen weergegeven.



figuur 5-1: Evenwichtstaludhellingen en doorsneden

Uit figuur 5-1 blijkt dat voor een verhaalsnelheid van 0,25 mm/s zeer steile taludhellingen worden berekend. Deze zijn ongeveer gelijk aan de natuurlijke taludhelling van het materiaal. Hieruit kan worden geconcludeerd dat dit materiaal niet erg gevoelig is voor bresvloeiing. Dit is te verklaren vanuit de relatief grove korrels die hier zijn aangetroffen.

Uit de berekeningen met een verhaalsnelheid van 0,5 mm/s blijkt dat vanaf circa NAP -5,0 m een minder steil talud gerealiseerd kan worden. Met betrekking tot boring B8 wordt opgemerkt dat bij verhaalsnelheden >0,25 mm/s geen evenwichtstalud berekend wordt. Opgemerkt moet worden dat ter plaatse van B8 rond NAP -5,0 m een relatief fijnkorrelige zandlaag is aangetroffen, welke vermoedelijk minder goed te bressen is. Hier dient in de uitvoering rekening mee te worden gehouden. Vanaf circa NAP -16 m worden relatief flauwe taluds berekend met een taludhelling van gemiddeld 1:15. Dit hangt samen met het fijnkorreliger karakter van de zandlagen vanaf deze diepte, zoals ook te zien in de korrelverdelingsgrafiek in bijlage 2.

Geadviseerd wordt om een maximale verhaalsnelheid van 0,25 mm/s aan te houden en dit tot aan het ontwerpprofiel te handhaven.

### **5.5.3. Conclusies gedetailleerde beoordeling bresvloeiing**

Uit de gedetailleerde beoordeling van het faalmechanisme bresvloeiing blijkt dat het materiaal tot een diepte van ca. NAP -5,0 m niet erg gevoelig is voor bresvloeiing. Het ontwerpprofiel voldoet voor de 3 beschouwde boringen aan de gedetailleerde beoordeling voor het faalmechanisme bresvloeiing.

Het ontwerpprofiel voldoet aan de gedetailleerde beoordeling voor bresvloeiing tot een diepte van NAP -16 m. Geadviseerd wordt vanaf deze diepte een taludhelling aan te houden van circa 1:15.

### **5.6. Conclusies en aanbevelingen bresvloeiing**

Het ontwerpprofiel is voor 3 locaties beoordeeld op het faalmechanisme bresvloeiing tot aan gedetailleerd niveau conform CUR 113. In de analyses is uitgegaan van een beheerst bresproces in een natte ontgraving. Daarnaast dient de uitvoering en het materieel aan een aantal eisen te voldoen. Voor nadere informatie over deze en andere uitgangspunten wordt verwezen naar de voorgaande paragrafen.

Op basis van een eenvoudige beoordeling blijkt geen van de doorsneden aan de eenvoudige beoordeling te voldoen.

Voor de eindsituatie is het faalmechanisme bresvloeiing niet nader beschouwd. Voor deze situatie kan onder normale omstandigheden een zand-water suspensiestroom langs de onderwater helling met voldoende zekerheid worden uitgesloten, mits voldoende veiligheid met betrekking tot de faalmechanismen afschuiving en verwekingsvloeiing aanwezig is.

## 6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 6.1. Resultaten beoordeling ontwerpprofiel

Voor de zandwininput de Randwijkse Waarden te Heteren is de taludstabiliteit beoordeeld conform CUR 113. De beoordeling is voor 2 doorsneden voor zowel de uitvoerings-, de terugstort en als de eindsituatie uitgevoerd. De resultaten van deze beoordeling zijn samengevat in tabel 6-1. Voor de uitgangspunten van de analyses wordt verwezen naar de voorgaande hoofdstukken.

*tabel 6-1: Samenvatting beoordelingsresultaten taludstabiliteit conform CUR 113*

Doorsnede	Fase	Talud-afschuiving	Verwekings-vloeiing	Bresvloeiing	Eindoordeel
1	Uitvoering	Voldoende	Voldoende	Voldoende	Voldoende
	Eindsituatie	Voldoende	Voldoende	Voldoende	Voldoende
2	Eindsituatie	Voldoende	Voldoende	Voldoende	Voldoende

Uit de beoordeling volgens CUR 113 blijkt dat alle doorsneden voldoen bij het hanteren van het ontwerpprofiel tot een diepte van NAP -16 m. Vanaf deze diepte dient in verband met de beoordeling op bresvloeiing een taludhelling van 1:15 aangehouden te worden

### 6.2. Aanbevelingen terugstorten materiaal

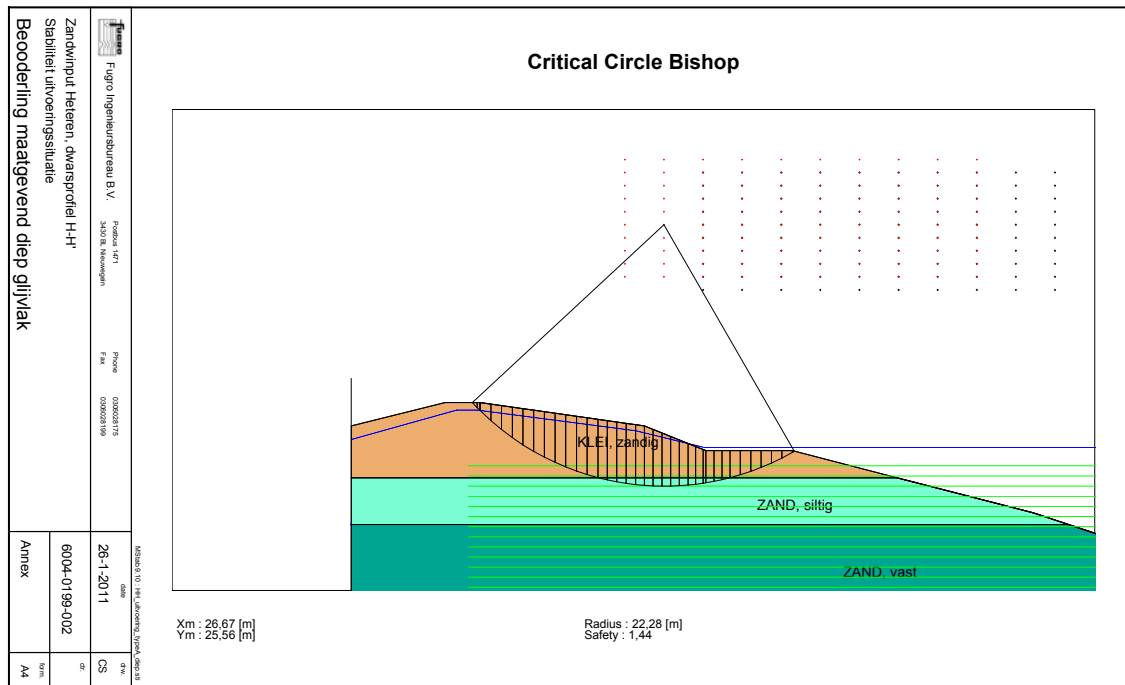
Ter plaatse van doorsnede 1 (westzijde) zal een aanvulling (reconstructie) plaatsvinden. Het aanvulmateriaal bestaat uit de fijne fractie uit de zandwininput. Uitgaande van slecht gegradeerd, fijn zand en silt met een losse pakking zal dit materiaal naar verwachting verwekingsgevoelig zijn.

De stabiliteit van dit materiaal gedurende de uitvoerings- en de eindsituatie is grotendeels afhankelijk van de samenstelling van het materiaal en de uitvoeringswijze. Controle van de daadwerkelijk gerealiseerde kwaliteit van het aanvulmateriaal na het aanbrengen en monitoring van de stabiliteit van de gerealiseerde taludhelling is dan ook noodzakelijk. Hiertoe dient een uitvoerings- en monitoringsplan ten behoeve van de aanvulling te worden opgesteld.

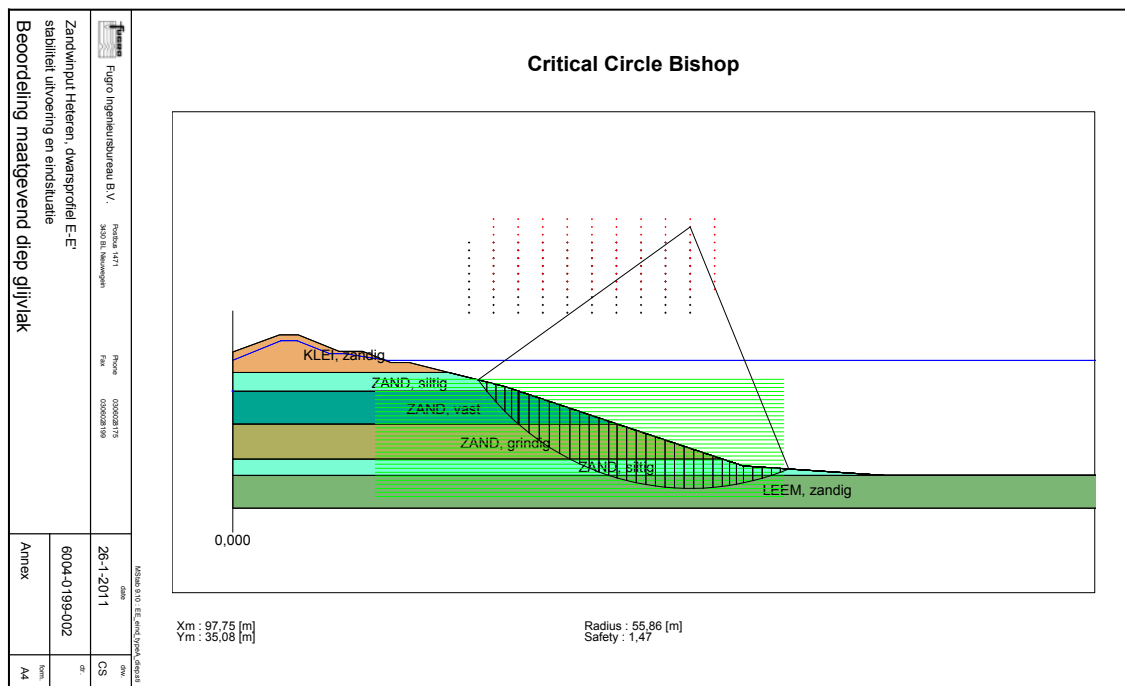
Opgemerkt moet worden dat de minimaal toe te passen taludhelling afhankelijk is van het gewenste veiligheidsniveau. Bij het opspuiten van het zand zal maximaal een taludhelling van ca. 1:4 à 1:5 (v:h) haalbaar zijn. Na realisatie van dit talud is het talud rekenkundig stabiel. In het verleden zijn regelmatig vergunningen verleend voor opgespoten taluds met helling 1:4 (v:h). In de meeste gevallen zijn dergelijke taluds stabiel. Voorwaarde is echter dat er geen ontgrondingen plaatsvinden nabij het talud.

## BIJLAGEN

Figuur 1 doorsnede 1 maatgevend glijvlak stabiliteit >1,0



Figuur 2 doorsnede 2 maatgevend glijvlak stabiliteit >1,0

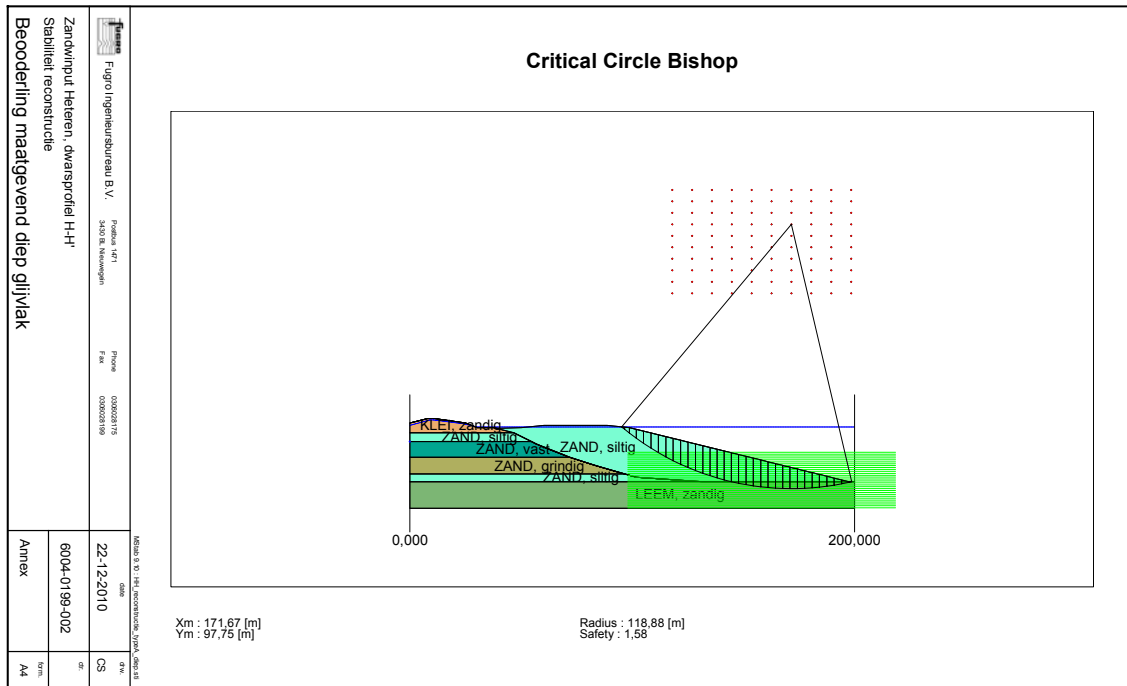


## Berekeningsresultaten stabiliteitsanalyses

BEOORDELING TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING  
RANDWIJKSE WAARDEN TE HETEREN

Opdr. : 6004-0199-00  
Bijl. : 1

Figuur 3 doorsnede 1 stabiliteit na reconstructie >1,0

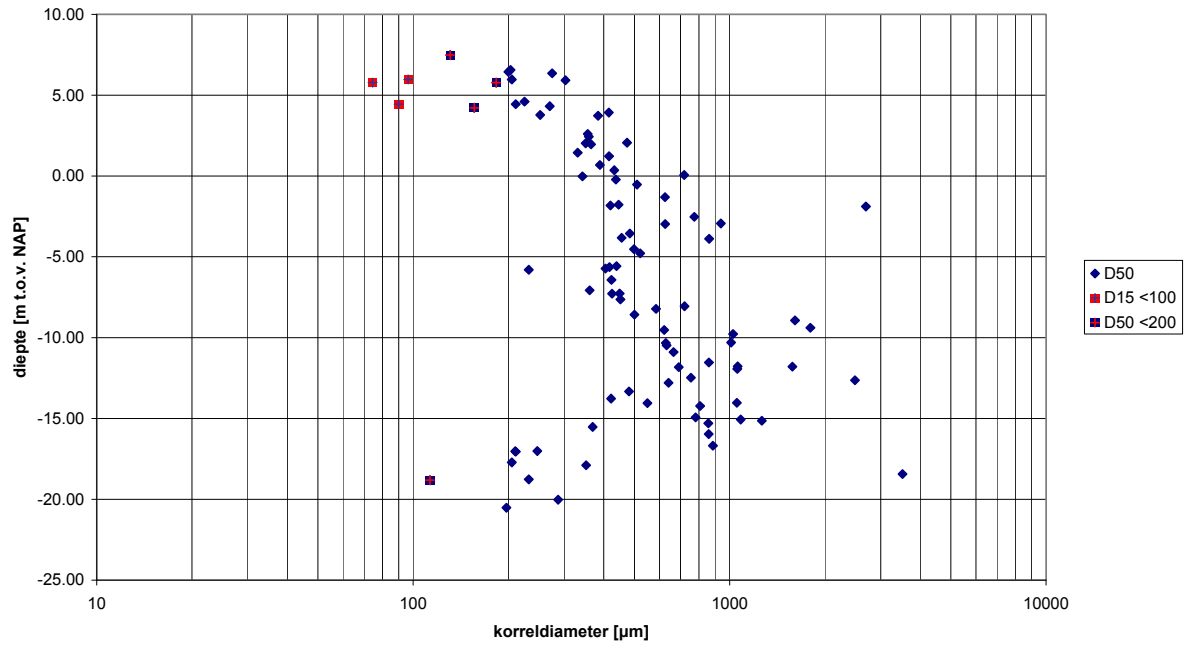


### Berekeningsresultaten stabiliteitsanalyses

BEOORDELING TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING  
 RANDWIJKSE WAARDEN TE HETEREN

Opdr. : 6004-0199-00  
 Bijl. : 1

Korrelverdelingen zandwinput Randwijkse Waarden te Heteren



**Korrelverdelingen**

BEOORDELING TALUDSTABILITEIT ZANDWINNING  
 RANDWIJKSE WAARDEN TE HETEREN

Opdr. : 6004-0199-00  
 Bijl. : 2