

# Memo

## Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa

Datum	5-3-2020	Versie 2.0
Opsteller	Daan Jumelet	Controle en vrijgave via DMS
Controle	Albert Wiggers	Controle en vrijgave via DMS
Authorisatie	Peter van der Scheer	Controle en vrijgave via DMS
Vrijgave	Melanie Nissink	Controle en vrijgave via DMS
Team	Techniek	

---

### **Referenties:**

- [1] Ontgrondingstekening Crobsche Waard (document: GO-WA-TEK-24253)
- [2a] CUR-Aanbeveling 113 Oeverstabiliteit bij zandwinputten, eindconcept Aanbevelingen versie 5.9, 2008-07-04 (document: CUR C130 Aanbevelingen.pdf) 7
- [2b] CUR-Aanbeveling 113 Oeverstabiliteit bij zandwinputten, 4<sup>e</sup> concept, 2005-07-08 (document: CUR130 - oeverstabiliteit zandwinputten - 4161L - 5.0.00.pdf)
- [3] Rapport betreffende Zandwinning Crobsche Waard te Haaften, Fugro ingenieursbureau B.V. Regio Oost - Geotechniek, opdrachtnummer: 6007-0224-000 (document: 2007-07-12 rapport FUGRO.pdf & document: 6007-0224-000 Situ+sonderingen.pdf)
- 

### **Inhoudsopgave**

#### Samenvatting

1. Aanleiding
  - 1.1. Vraag
2. CUR-Aanbeveling 113 Oeverstabiliteit bij zandwinputten
  - 2.1. Gebruik CUR-Aanbeveling 113
  - 2.2. Mechanismen die tot oeverinscharing kunnen leiden
3. Beoordeling met betrekking tot oeverinscharingen
  - 3.1. A.3 Grondonderzoek en overige metingen
  - 3.2. A.4 Analyse faalmechanismen
  - 3.3. A.5 Risicobeschouwing
4. Conclusie met antwoord

Bijlage 1 - Check correlatie van Baldi op verwerkingsvloeiing

---

# Memo

## Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa

### Samenvatting

Op basis van het doorlopen van de beoordeling met betrekking tot oeverinscheringen volgens de CUR-Aanbeveling 113 Oeverstabiliteit bij zandwinputten [2] kan worden geconcludeerd dat voor het ontgraven van de geul ter plaatse van de Crobsche Waard een taludhelling van 1:3,5 stabiel is. De beoordeling met betrekking tot oeverinscheringen wordt gedaan aan de hand van drie criteria: beschikbaar grondonderzoek, analyse faalmechanismen en risicobeschouwing.

Vanwege voldoende grondonderzoek in de vorm van archief- en kaartmateriaal, sonderingen en boringen, classificatieproeven van het zand wordt voldaan aan het criterium 'grondonderzoek'. Het criterium 'analyse faalmechanismen' voldoet betreft het faalmechanisme afschuiving bij de taludhelling van 1:3,5 als er géén gronddepot of andere bovenbelasting vlak langs oever wordt geplaatst en er géén slappe cohesieve lagen aanwezig zijn in de bodem.

Ten behoeve van het faalmechanisme verwerkingsvloeiing is de correlatie van Baldi beoordeeld aan de hand van de sonderingen DKM<sub>1</sub> t/m DKM<sub>4</sub> en DKM<sub>7</sub> t/m DKM<sub>10</sub> [3], ter plaatse van de te realiseren geul. Uit de check, weergegeven in bijlage 1, volgt dat aan de correlatie van Baldi wordt voldaan voor sonderingen DKM<sub>1</sub> t/m DKM<sub>4</sub> en DKM<sub>8</sub> t/m DKM<sub>10</sub>. Bij sondering DKM<sub>7</sub> wordt niet voldaan aan de correlatie van Baldi. Dit is slechts over een laagdikte van 1m, en lijkt op basis van nadere bestudering van de stratigrafie in dit gebied vooral het gevolg van dunne stoorlagen of sterke bijmenging van silt en klei. Zodoende treedt er geen verwerkingsvloeiing op bij het ontwerpuitgangspunt, zijnde een taludhelling van 1:3,5, en de gegeven bodemgegevens [3]. Er dient er rekening te worden gehouden met de kruinhoogte en afstand van de toekomstige zomerkade en andere belastingen 'vlak langs de oever'. Bij het uitwerken van het ontwerp van de zomerkade is het behoud van de stabiliteit van geul randvoorwaardelijk.

Het faalmechanisme bresvloeiing wordt voorkomen door een zorgvuldige uitvoeringsmethode. Aan het criterium 'risicobeschouwing' wordt voldaan doordat de voorwaarden samengevat in tabel A.4.1 voor de faalmechanismen afschuiving, verwerkingsvloeiing en bresvloeiing worden nagekomen. Daarnaast zijn er geen permanente belastingen met bijzondere waarde (met oog op faalmechanismen verwerkingsvloeiing en bresvloeiing) binnen een afstand van 2-3 maal de putdiepte aanwezig.

# Memo

## Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa

### 1 Aanleiding

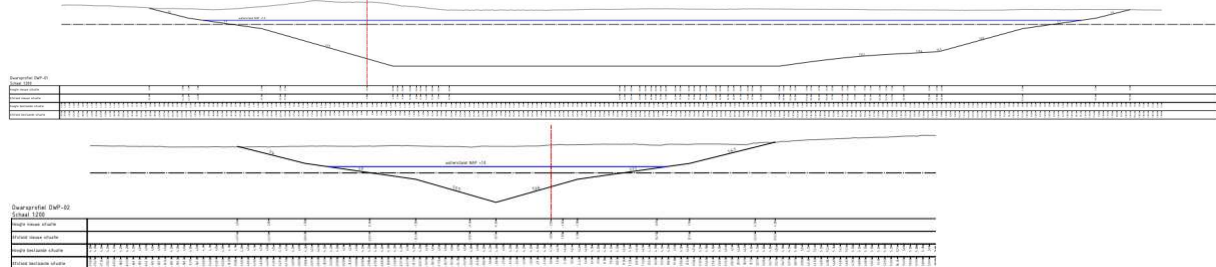
Voor de dijkversterking Gorinchem-Waardenburg wordt gekeken naar het verlengen van de bestaande geul ter plaatse van de Crobsche Waard, een voormalige zandwinput. Dit ter compensatie van de rivieropstuwung die de buitenwaartse verplaatsing van een aantal dijkvakken met zich meebrengt. In figuur 1 zijn de dieptecontouren van het plan weergegeven, alsmede de ligging van de geul ten opzichte van objecten in de omgeving (onder andere de kribben, de oever van het zomerbed, en de steenfabriek). Lokaal wordt ontgraven tot -10m t.o.v. NAP.



**Figuur 1** - Dieptecontouren ontgraving Crobsche Waard met rechts de toelichting van iedere dieptecontour in meters t.o.v. NAP

### 1.1 Vraag

Ten behoeve van het aanvragen van de ontgrondingsvergunningen dient de Graaf Reinaldalliantie aan te tonen dat de taludstabiliteit wordt geborgd bij het ontwerpuitgangspunt, zijnde een taludhelling van 1:3,5. Er wordt verwezen naar CUR-Aanbeveling 113 Oeverstabiliteit bij zandwinputten [2] om aantoonbaar te onderbouwen dat de gekozen taludhelling voldoet. Indien de taludhelling van 1:3,5 niet voldoet, dient te worden beargumenteerd welke andere taludhelling wel aanvaardbaar is om de oeverstabiliteit van de Crobsche Waard te borgen. In figuur 2 is een schematisatie weergegeven van profielen 01 en 02 van de te verlengen geul (zie figuur 1 voor locatie profielen). Voor de overzichtskaart waarin de voorgestelde maatregel in meer detail wordt weergegeven en overige profielen wordt verwezen naar de Ontgrondingstekening Crobsche Waard [1].



**Figuur 2** - Schematisatie van profiel 01 (boven) en 02 (onder) van de te verlengen geul [1]

Naar verwachting veroorzaakt het verlengen van de bestaande geul geen problemen voor de stabiliteit van de Waalbandijk, omdat deze zich op voldoende afstand bevindt van de ontgravingswerkzaamheden. Echter dient

## Memo

### Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa

de stabiliteit van de kribben, de oever van het zomerbed, en de aanwezigheid van de steenfabriek beschouwd te worden.

In de onderliggende memo wordt de vraag met betrekking tot de stabiliteit van het ontwerpuitgangspunt: een taludhelling van 1:3,5 beschouwd aan de hand van de CUR-Aanbeveling 113 [2]. De bodemgegevens zijn afkomstig uit het rapport betreffende Zandwinning Crobsche Waard te Haaften, opgesteld door Fugro [3].

# Memo

## Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa

### 2. CUR-Aanbeveling 113 Oeverstabiliteit bij zandwinputten

#### 2.1 Gebruik CUR-Aanbeveling 113

De Aanbeveling is bedoeld om een zo volledig mogelijk beeld te geven van de belangrijkste zaken die gemeoid zijn met het omgaan met het risico van ongewenste oeverinscharing bij zandwinputten. In de CUR-Aanbeveling zijn de hoofdlijnen uiteengezet voor het vaststellen van een optimaal talud. Dat is een talud dat bijdraagt aan het zoveel mogelijk benutten van een zandwinlocatie, maar tevens leidt tot een aanvaardbaar risico op oeverinscharing. De functie van de Aanbeveling is in de eerste plaats houvast te bieden bij vergunningverlening.

Deze CUR-Aanbeveling is opgesteld door CUR-commissie C130 'Zandwinputten en taludstabiliteit'.

#### A.1.2 Toepassingsgebied

De CUR-Aanbeveling 113 is toepasbaar op alle ontgrondingen die als doelstelling hebben het winnen van zand of grind. Hierin wordt geen minimum putdiepte vastgesteld. Wel dient het niveau van diepgang van onderzoek en analyses afgestemd te worden op het risico van oeverstabiliteit bij de betreffende put, een risico dat mede bepaald wordt door de toekomstige putgeometrie (diepte, taludhellingen, etc.), voorgestelde winningsmethode, kennis van en ervaringen met de geologische situatie en de eventuele aanwezigheid van waarden dicht langs de oever.

Tijdens de ontwerpfase dienen de volgende drie activiteiten plaats te vinden: grondonderzoek, analyse faalmechanismen en risicobeschouwing.

#### A.1.5 Relatie met vergunningsvoorwaarden

De aanbeveling kan gebruikt worden in het contract tussen aanvrager en vergunningverlener: de ontgrondingsvergunning.

#### A.2.1 Doel van het ontwerp

Het resultaat van het ontwerp moet verwerkt worden in de in te dienen aanvraag voor de ontgrondingsvergunning. Het ontwerp moet in essentie duidelijkheid geven over de opgesomde aspecten. Het gaat in deze aanbeveling vooral om het eerste punt: dimensionering van veilige taluds en randstroken in relatie tot de diepte en grondgesteldheid van de put. Een veilige dimensionering houdt in, dat voor ieder potentieel bedreigd (toekomstig) object in de omgeving van de winput moet worden voldaan aan normen, of dat er op andere wijze uitspraak kan worden gedaan over mate van risico.

#### A.2.2 Omvang en diepgang

De omvang en diepgang van het ontwerp en de uitvoeringsbegeleiding zullen mede afhangen van de ervaring en de wensen ten aanzien van taludhellingen en putdiepten. Naarmate een grotere putdiepte gewenst is en grotere risico's voor schade aan de oevers in het geding zijn, is meer kennis van de ondergrond en zijn meer geavanceerde analyses nodig. Ook zijn meer grondonderzoek en analyses nodig naarmate de grond meer variatie vertoont en/of de opbouw eerder aanleiding geeft tot oeverinscharingen, bijvoorbeeld vanwege de aanwezigheid van stoorlagen, de fijnheid of de losse pakking van het zand.

In een systematiek van grof naar fijn worden hier vier niveaus van diepgang onderscheiden: op basis van ervaring, **eenvoudig (van toepassing bij de beantwoording van gestelde vraag in 1.1)**, gedetailleerd, geavanceerd.

## Memo

### Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa

#### 2.2 Mechanismen die tot oeverinscharing kunnen leiden

Onder een oeverinscharing in een zandwinput wordt verstaan het onbeheerst onder water verdwijnen van een deel van de oever, in ongunstige gevallen tot voorbij de in de ontgrondingsvergunning toegestane grenzen.

In de meeste situaties blijkt na onderzoek een drietal mechanismen de oeverinscharing te kunnen veroorzaken. Deze mechanismen zijn zonder daarmee een rangschikking naar de belangrijkheid te bedoelen:

- **Taludafschuiving;** verlies van macro-evenwicht veroorzaakt door overschrijding van de maximaal mobiliseerbare weerstand tegen afschuiven (proces in ondergrond);
- **Verwekingsvloeiing;** wegvloeien van zand door verweking in losgepakte zandlagen (proces in ondergrond);
- **Bresvloeiing;** terugschrijdend bressen in vastgepakte zanden (oppervlakteproces).

In praktijksituaties blijkt er vaak sprake te zijn van interactie tussen deze mechanismen. Voor een nadere toelichting wordt verwezen naar hoofdstuk 3 [2b].

# Memo

## Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa

### 3 Beoordeling met betrekking tot oeverinscharingen

#### 3.1 A.3 Grondonderzoek en overige metingen

Tabel A.3 Beoordeling van relevant en minimaal benodigd (extra) grondonderzoek met betrekking tot oeverinscharingen. Aan de groen gekleurde punten wordt voldaan.

GRONDONDERZOEK VOOR BEOORDELING M.B.T. OEVERINSCHARINGEN			
Niveau van diepgang	Faalmechanisme		
	Afschuiving	Verwekingsvloeiing	Bresvloeiing
Eenvoudig	<b>STANDAARD:</b> - archief- en kaartmateriaal - sonderingen tot $0,3 \cdot HR$ onder putbodem *): één per $0,3$ à $1,0$ km oever (minimaal 3 per put)  <b>VERFIJNING:</b> - extra sonderingen, afhankelijk van ruimtelijke variatie slappe grond - boringen tot $0,3 \cdot HR$ onder putbodem*) - classificatieproeven cohesief materiaal - eventueel sterkteproeven cohesief materiaal	<b>STANDAARD:</b> - archief- en kaartmateriaal - sonderingen tot $0,5 \cdot HR$ onder putbodem: één per $0,3$ à $0,5$ km oever (minimaal 4 per put)  <b>VERFIJNING:</b> - extra sonderingen, afhankelijk van ruimtelijke variatie van losgepakt zand	<b>STANDAARD:</b> - archief- en kaartmateriaal - boringen tot putbodem: één per $0,3$ à $1,0$ km oever (minimaal 3 per put) - classificatieproeven zand (met name korrelverdeling)  <b>VERFIJNING:</b> - extra boringen, afhankelijk van ruimtelijke variatie korrelgrootte zand - classificatie op verkregen monsters - sonderingen tot putbodem om gelaagdheid beter in kaart te brengen als er stoorlagen zijn

#### Onderbouwing grondonderzoek: afschuiving, verwekingsvloeiing en bresvloeiing

- Archief- en kaartmateriaal: een maatregelenkaart van het plan voor de Crobsche Waard met de ligging en afmetingen (incl. taluds) van de geul t.o.v. andere objecten/belendingen [1]. DINOloket bevat een zeer beperkt aantal boringen en/of sonderingen.
- Het rapport betreffende Zandwinning Crobsche Waard te Haaften van Fugro met grondonderzoek [3] bevat 15 diepsonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand tot 30m diepte, en 4 mechanische boringen tot 25m diepte, inclusief een overzichtskaart van de Crobsche Waard met de locatie waar deze sonderingen en boringen zijn uitgevoerd. Classificatie van geroerde en ongeroerde monsters van boorstaten B1 t/m B4, inclusief korrelverdelingsdiagrammen van 8 mengmonsters.

# Memo

## Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa

### 3.2 A.4 Analyse faalmechanismen

Tabel A.4.1 Aanbeveling voor uit te voeren analyses, per faalmechanisme en niveau van diepgang. De analyses moeten uitgevoerd worden voor ieder van de fasen uitvoering, terugstorten en beheer. Aan de groen gekleurde punten wordt voldaan. Aan de rood gekleurde punten wordt niet voldaan. Echter zijn er bij het faalmechanisme verwerkingsvloeiing ook 2 andere criteria waar aan kan worden voldaan. Verwerkingsvloeiing dient bij het beschikbaar komen van de sonderingen nog nader te worden beschouwd/onderzocht.

MECHANISMEANALYSES VOOR BEOORDELING M.B.T. OEVERINSCHARINGEN			
Niveau van diepgang	Faalmechanisme	Verwerkingsvloeiing	Bresvloeiing
Eenvoudig	Voldoet aan elk van volgende voorwaarden: - géén gronddepot of andere bovenbelasting vlak langs oever *) - géén slappe cohesieve lagen - helling flauwer dan 1:3  OF  Stabiliteitsberekening volgens methode Bishop met grondparameters geschat volgens NEN 6740 [22]	Voldoet volgens correlatie van Baldi aan: $R_{n1} > 0,5$  OF  voldoet aan: $\cot\alpha_R > 7 \cdot (H_R/30m)^{2/3} ***$  OF  voldoet aan beide volgende voorwaarden: - $R_{n3} > 0,5$ - $\cot\alpha_R > 4 \cdot (H_R/30m)^{2/3} ***$	Voldoet aan elk van volgende voorwaarden: - dikke stoorlagen ( $> 1$ m), indien aanwezig, worden met geschikt materieel verwijderd - zand is grof genoeg (zie tabel A.4.2a) - er wordt van te voren een werkplan voor de uitvoering vastgesteld - zuigproces wordt beheerst door monitoring van positie zuigbuis en productie - gezogen taluds worden regelmatig*) gepeild  DAN: → taludhelling volgens tabel A.4.2
*) Een gronddepot ligt 'vlak langs de oever' als de kruin van het depot zich bevindt op een horizontale afstand tot de waterlijn die kleiner is dan 5 maal de hoogte van de kruin boven de waterlijn. **) 'Regelmatig' wil zeggen zo frequent dat de taludvorm voortdurend bekend is met een nauwkeurigheid van ongeveer 2m (verticaal). ***) Bij verwerkingsvloeiing speelt de grond en het profiel onder de verwerkingsgevoelige laag geen rol. Daarom mogen $H_R$ en $\cot\alpha_R$ berekend worden voor een diepte van de putbodem gelijk aan de diepte van de onderkant van de laag waarvoor $R_{n1} < 0,5$ respectievelijk $R_{n3} < 0,5$ .			

#### Onderbouwing mechanismeanalyse: afschuiving

- De afstand van de toekomstige oeverlijn tot de verharde oppervlakte, waar de eigenaar van de steenfabriek het recht heeft om depots neer te leggen, is ca. 15m (bron: Google Maps). De hoogte van depots is maximaal 4 opeengestapelde pallets, ieder met een hoogte van ca. 1m (bron: www.wienerberger.nl). Dus totaal 4m hoog. De afstand en hoogte van de depots zijn hetzelfde als bij de reeds aanwezige geul. Hier zijn geen oeverinscharingen opgetreden. Afhankelijk van de lokale ondergrond, kan worden uitgegaan dat deze afstand van 15m ook voldoende is bij de aan te leggen geul. Op basis van de sonderingen DKM8 (ter plaatse van de te ontgraven, toekomstige geul) en DKM9 (ter plaatse van de reeds aanwezige geul), kan worden gesteld dat ondergrond niet nadelig afwijkt en daarom geen afschuivingen worden verwacht bij de nieuwe geul. Daarnaast dient er rekening te worden gehouden met de kruinhoogte en afstand van de toekomstige zomerkade en andere belastingen 'vlak langs de oever' (zie \* in bovenstaande tabel met toelichting). Bij het uitwerken van het ontwerp van de zomerkade is het behoud van de stabiliteit van geul randvoorwaardelijk.
- De 3 relevante boorstaten B1 t/m B3 zijn gebruikt om te beoordelen op de aanwezigheid van slappe cohesieve lagen.



## Memo

### Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa

- In B1 bestaat de bodem uit klei van het maaiveld (+4,46m NAP) tot 2,5m onder het maaiveld. Verder bestaat de dieper gelegen bodem uit homogeen zand, variërend van zwak/matig/zeer grof tot zwak/matig grindig, en zwak/matig siltig.
- In B2 is afwisselend de bodem zand, klei, zand, klei vanaf het maaiveld (+4,29m NAP) tot 2,5m onder het maaiveld. Van 2,5m tot 5m onder het maaiveld bestaat de bodem uit zand. Vervolgens bestaat de bodem van 5m tot 7m onder het maaiveld bestaat de bodem uit klei. Verder bestaat de dieper gelegen bodem uit homogeen zand, variërend van zwak/matig/zeer grof tot zwak/matig grindig, en zwak/matig siltig.
- In B3 bestaat de bodem uit zand van het maaiveld (+3,87m NAP) tot 1m onder het maaiveld. Vervolgens bestaat de bodem uit klei van 1m tot 1,5m onder het maaiveld. Verder bestaat de dieper gelegen bodem uit homogeen zand, variërend van zwak/matig/zeer grof tot zwak/matig grindig, en zwak/matig siltig.

Er kan worden geconcludeerd dat er cohesieve lagen voorkomen. Echter dient de sterkte onderzocht te worden om te beoordelen of het slappe cohesieve lagen zijn. Als de kleilagen boven gemiddeld rivierpeil liggen en daarmee geregeld boven de grondwaterstand dan zijn de lagen volledig geconsolideerd en veelal zwaar (en daarmee vast). Voor het gemiddeld rivierpeil (ter plaatse van Zaltbommel) wordt gekeken naar de waterhoogte Normaal (>0,7m) en Licht verhoogd (>4,1m) (bron: [www.waterinfo.rws.nl](http://www.waterinfo.rws.nl)). Dit is het geval voor alle bovengenoemde kleilagen in de boorstaten B1, B2 en B3 op de kleilaag van 5m tot 7m onder het maaiveld in boorstaat B2 na. Bovenstaande wordt onderbouwd met de resultaten afkomstig uit het vele grondonderzoek wat we hebben uitgevoerd in het voorland. Voor de dijk zijn de kleien in het gebied stevig en relatief zwaar in vergelijking met de slappere cohesieve lagen in het achterland van de dijk. De dieper gelegen kleilagen bevatten zandig materiaal en zijn hierdoor mogelijk ook sterk genoeg. Echter is dit afhankelijk van of het om een daadwerkelijke bijmenging van zand in de dieper gelegen kleilaag gaat, of dat het een sterk gelaagd pakket van zand en klei (welke veel minder sterk is in horizontale richting) is. Ter bevestiging dient een nadere beschouwing te worden gedaan aan de hand van de gemeten conusweerstand in de nog beschikbaar te komen sonderingen of door het uitvoeren van sterkteproeven.

- Gekozen taludhelling is 1:3,5, en dus flauwer dan 1:3.

#### Onderbouwing mechanisemeanalyse: verwekingsvloeiing

- De helling van 1:3,5 voldoet niet aan  $\cot\alpha_R = 3,5 > 5,56 = 7 \cdot (H_R/30m)^{2/3}$  met  $H_R=15m$ , maar wel aan  $\cot\alpha_R > 3,17 = 4 \cdot (H_R/30m)^{2/3}$ .
- Daarom is ook het faalmechanisme verwekingsvloeiing gecheckt met de correlatie van Baldi. Hiervoor zijn de sonderingen DKM1 t/m DKM4 en DKM7 t/m DKM10 [3], ter plaatse van de te realiseren geul, en de relatieve dichtheid benodigd. Aan de hand van de conusweerstand en de effectieve verticale spanning kan de relatieve dichtheid worden bepaald met de onderstaande relatie van Baldi [Baldi et al. 1982] met  $A=4,0$ ,  $B=0,14$  en  $C=0,6$ .

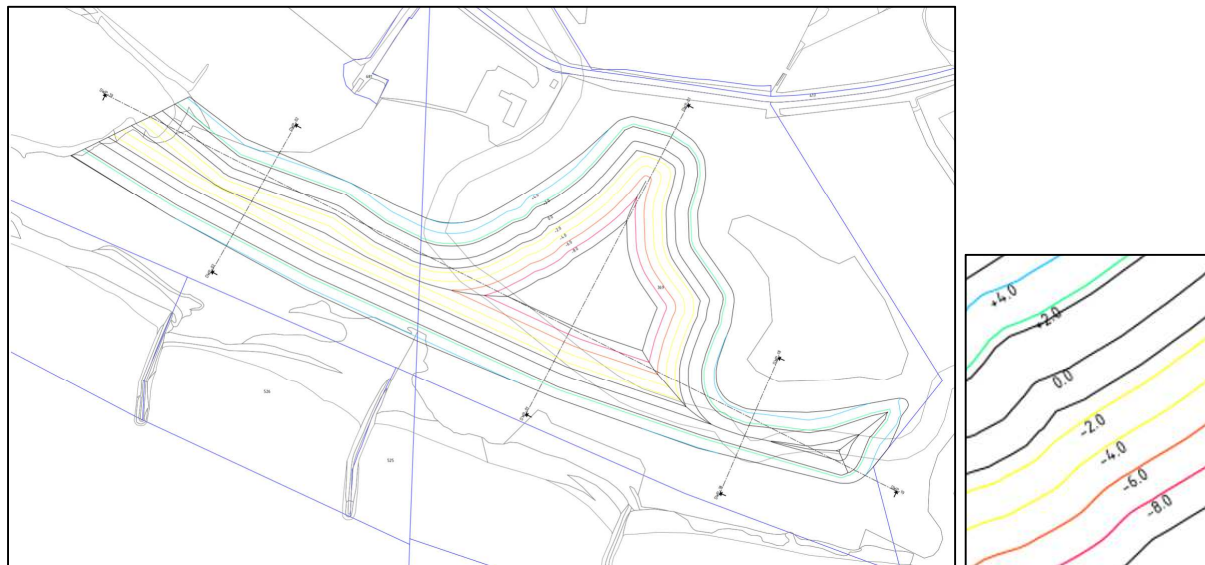
$$R_n = A * \ln \left[ \frac{q_c}{B(\sigma'_{vo})^C} \right]$$

In bijlage 1 is de uitgevoerde check:  $R_{n1} > 0,5$  weergegeven voor iedere sondering over de diepte. Als aan deze check wordt voldaan, voldoet  $R_{n3} > 0,5$  ook.

Bij de check is rekening gehouden met de beoogde ontgravingsdiepte volgens de dieptecontourenkaart in Figuur 3 ter plaatse van de desbetreffende sondering.

# Memo

## Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa



**Figuur 3** - Dieptecontourenkaart ontgraving Crobsche Waard met rechts de toelichting van iedere dieptecontour in meters t.o.v. NAP

In onderstaande tabel is voor iedere sondering de ontgravingsdiepte en het resultaat van de check van de correlatie van Baldi op het faalmechanisme verwekingsvloeiing weergegeven. Aan de correlatie van Baldi wordt voldaan voor sonderingen DKM1 t/m DKM4 en DKM8 t/m DKM10. In sondering DKM7 is een teruggang in sondeerweerstand te zien die volgens correlatie met de relatieve dichtheid via Baldi zou duiden op een losgepakte (en dus verwekingsgevoelige) laag. Echter: uit nadere bestudering van de stratigrafie in dit gebied (op basis van alle sonderingen en boringen uit [3]) komt duidelijk naar voren dat de teruggang op deze diepte wordt veroorzaakt door dunne kleilensjes. De ervaring is dat dit wel eens in een afzonderlijke boorbeschrijving (zoals in B3) kan worden gemist. In andere boringen worden deze dunne stoorlagen of bijmenging wel gemeld en ook in de sonderingen wordt een relatief hoog wrijvingsgetal op deze diepte gemeten wat duidt op kleilenzen of een sterke bijmenging met silt en klei. Dergelijke lagen hebben evenals de bovengelige vaste zandlagen een hoge dichtheid en zijn niet zettingsvloeiingsgevoelig. Door de aanwezigheid van bijmenging of dunne lenzen wordt per definitie een lagere conusweerstand gemeten en is er geen sprake van een verwekingsgevoelige laag en wordt dus ook niet al risico gezien. Daarnaast draagt de gecontroleerde uitvoeringswijze, zoals bij Onderbouwing mechanismeanalyse: bresvloeiing beschreven, bij aan de beheersing van het risico op zettingsvloeiing.

Sondering	DKM1	DKM2	DKM3	DKM4	DKM7	DKM8	DKM9	DKM10
Ontgravingsdiepte [m t.o.v. NAP]	-6,0	-6,0	-10,0	-6,0	-10,0	-6,0	-6,0	-6,0
Check correlatie van Baldi	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet op 1m na	Voldoet	Voldoet	Voldoet

### Onderbouwing mechanismeanalyse: bresvloeiing

- Tijdens de uitvoering zullen de aanwezige stoorlagen (klei) met zorgvuldige werkmethode (geschikt materieel) worden ontgraven. Bij het ontgraven van de talud dient van boven naar onder worden gewerkt en is baggeren van het talud middels actief bressen niet toegestaan. Tevens dient er een werkplan voor de uitvoering vastgesteld te worden. Het zuigproces dient te worden beheerst door monitoring van positie zuigbuis en productie gezogen taluds worden regelmatig\*\*) gepeild.
- Bij een gemiddelde helling van 1:3,5 over een diepte van 0 (maaiveld = +5m NAP) tot -15m (diepte geul = -10m NAP) volgt uit tabel A.4.2a en de korrelverdelingsdiagrammen van zand, kan er worden vanuit gegaan dat het

# Memo

## Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa

zand grof genoeg is. Over een diepte van 0 tot -5, -5 tot -10, en -10 tot -15 volstaat het materiaal ook in het geval steilere gemiddelde taludhellingen worden toegepast (zie tabel).

- o B1:  $d_{50} = 353-419 > 200\mu\text{m}$ ,  $d_{15} > 100\mu\text{m}$
- o B2:  $d_{50} = 289-328 > 200\mu\text{m}$ ,  $d_{15} > 100\mu\text{m}$
- o B3:  $d_{50} = 307-359 > 200\mu\text{m}$ ,  $d_{15} > 100\mu\text{m}$

Tabel A.4.2a Schema voor te handhaven taludopbouw zonder platbermen.

van diepte z [m + MV]	tot diepte z [m + MV]	Zand met, gemiddeld over 5m of minder, $d_{50} > 200\mu\text{m}$ en $d_{15} > 100\mu\text{m}$		Grind en zand met, gemiddeld over 5m of minder, $d_{50} > 500\mu\text{m}$ en $d_{15} > 250\mu\text{m}$	
		Lokale helling	Gemiddelde helling 0 – z	Lokale helling	Gemiddelde helling 0 – z
0	-5	1:2	1:2	1:2	1:2
-5	-10	1:3	1:2,5	1:3	1:2,5
-10	-15	1:4	1:3		
-15	-20	1:5	1:3,5		
-20	-25	1:6	1:4	1:4	1:3
-25	-30	1:8	1:4,67	1:6	1:3,75
-30	-35	1:10	1:5,43		
-35	-40	1:10	1:6		

### Aanvullende onderbouwing mechanismeanalyse: afschuiving, verwerkingsvloeiing en bresvloeiing

- Zie onderstaande tabel A.4.3, waar bij een putdiepte van 20m zonder platbermen een gemiddelde helling van 1:3,5 zou volstaan. Voor een doorgaand zandtalud volstaat de gekozen helling van 1:3,5 dus aan deze eis.

Tabel A.4.3 Gemiddelde taludhelling te realiseren met en zonder platbermen voor zand met  $d_{50} > 200\mu\text{m}$  en  $d_{15} > 100\mu\text{m}$ , zoals uitgewerkt in figuur A.4.

Putdiepte [m]	Gemiddelde helling		
	a) zonder platbermen	c) met 1 platberm en $Z_1 = -20\text{m}$	d) met 3 platbermen en $Z_1=(Z_2-Z_1)=(Z_3-Z_2)=-10\text{m}$
10	1:2,5	1:2,5	1:2,5
20	1:3,5	1:3,5	1:3
30	1:4,67	1:3,83	1:3,5
40	1:6	1:4	1:4

### 3.3 A.5 Risicobeschouwing

Aan de risicobeschouwing voor beoordeling met betrekking tot oeverinscheringen wordt voldaan door na te gaan of is voldaan aan de voorwaarden samengevat in tabel A.4.1 voor de faalmechanismen afschuiving, verwerkingsvloeiing en bresvloeiing.

Daarnaast dienen voor verwerkingsvloeiing en bresvloeiing geen permanente belendingen met bijzondere waarde binnen afstand van respectievelijk  $3x (=45\text{m}) / 2x (=30\text{m})$  de putdiepte aanwezig te zijn. De kribben, de steenfabriek en de gebouwen (adres: Crob 18) bevinden zich op  $> 60\text{m}$ . Er is aangenomen dat de depots van de steenfabriek geen bijzondere waarde bevatten. Zodoende wordt ook aan dit criterium voldaan.

## Memo

# Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa

### 4 Conclusie met antwoord

Op basis van het doorlopen van de beoordeling met betrekking tot oeverinscheringen volgens de CUR-Aanbeveling 113 Oeverstabiliteit bij zandwinputten [2] kan worden geconcludeerd dat voor het ontgraven van de geul ter plaatse van de Crobsche Waard een taludhelling van 1:3,5 stabiel is bij de gegeven afmetingen (van de geul, het maaiveld van +5m t.o.v. NAP, de putdiepte van 15m etc.) volgens de schematisatie in figuur 2 en de bodemgesteldheid volgens [3].

De beoordeling met betrekking tot oeverinscheringen wordt gedaan aan de hand van drie criteria: grondonderzoek, analyse faalmechanismen en risicobeschouwing. Vanwege voldoende grondonderzoek in de vorm van archief- en kaartmateriaal, sonderingen en boringen, classificatieproeven van het zand wordt voldaan aan het criterium 'grondonderzoek', zie paragraaf 3.1. Het criterium 'analyse faalmechanismen' (zie paragraaf 3.2) voldoet betreft het faalmechanisme afschuiving bij de taludhelling van 1:3,5 als er géén gronddepot of andere bovenbelasting vlak langs oever wordt geplaatst en er géén slappe cohesieve lagen aanwezig zijn in de bodem.

Ten behoeve van het faalmechanisme verwekingsvloeiing is de correlatie van Baldi beoordeeld aan de hand van de sonderingen. Aan de correlatie van Baldi wordt voldaan voor sonderingen DKM1 t/m DKM4 en DKM8 t/m DKM10. Bij sondering DKM7 wordt niet voldaan aan de correlatie van Baldi. Dit is slechts over een laagdikte van 1m, en lijkt op basis van nadere bestudering van de stratigrafie in dit gebied vooral het gevolg van dunne stoorlagen of sterke bijmenging van silt en klei. Verwekingsvloeiing wordt daarom niet gezien als een risico. Er dient er rekening te worden gehouden met de kruinhoogte en afstand van de toekomstige zomerkade en andere belastingen 'vlak langs de oever'. Bij het uitwerken van het ontwerp van de zomerkade is het behoud van de stabiliteit van geul randvoorwaardelijk.

Het faalmechanisme bresvloeiing wordt voorkomen door een zorgvuldige uitvoeringsmethode. In paragraaf 3.3 is het criterium 'risicobeschouwing' beoordeeld. Er wordt voldaan aan dit criterium doordat de voorwaarden samengevat in tabel A.4.1 voor de faalmechanismen afschuiving, verwekingsvloeiing en bresvloeiing worden nagekomen. Daarnaast zijn er geen permanente belastingen met bijzondere waarde (met oog op faalmechanismen verwekingsvloeiing en bresvloeiing) binnen een afstand van 2-3 maal de putdiepte aanwezig.

Volgens tabel A.4.2a is een gemiddelde taludhelling van 1:3 voorgeschreven voor een putdiepte van 15m (van -10m tot -15m t.o.v. het maaiveld). De gekozen taludhelling van 1:3,5 voldoet aan deze eis.

# Memo

## Taludstabiliteit Crobsche Waard GoWa

### Bijlage 1 - Check correlatie van Baldi op verwerkingsvloeiing

Sondering	Van [m NAP]	Tot [m NAP]	Diepte [m]	Materiaal	Volumegewicht $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Waterspanning $p$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Totale spanning $\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Effectieve spanning $\sigma'_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Conusweerstand $q_c$ [Mpa]	Rn1 [-]	Resultaat check correlatie van Baldi
DKM1	3,7	2,4	1,3	Klei	16	0	21	21	2	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	2,4	1,6	0,8	Zand	18	0	35	35	8	0,76	Rn > 0,5 dus voldoet
	1,6	1,0	0,6	Zand	20	6	48	42	10	0,81	Rn > 0,5 dus voldoet
	1,0	0,0	1,0	Zand	20	16	68	52	7	0,62	Rn > 0,5 dus voldoet
	0,0	-1,0	1,0	Zand	20	26	88	62	5	0,40	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-1,0	-2,0	1,0	Zand	20	36	108	72	10	0,68	Rn > 0,5 dus voldoet
	-2,0	-3,0	1,0	Zand	20	46	128	82	11	0,69	Rn > 0,5 dus voldoet
	-3,0	-4,0	1,0	Zand	20	56	148	92	9	0,58	Rn > 0,5 dus voldoet
	-4,0	-5,0	1,0	Zand	20	66	168	102	6	0,39	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-5,0	-6,0	1,0	Zand	20	76	188	112	10	0,58	Rn > 0,5 dus voldoet
DKM2	4,5	2,0	2,5	Klei	16	0	39	39	2	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	2,0	1,6	0,4	Zand	18	0	46	46	6	0,58	Rn > 0,5 dus voldoet
	1,6	0,6	1,0	Zand	20	10	67	56	9	0,70	Rn > 0,5 dus voldoet
	0,6	-0,3	0,9	Klei	16	19	81	62	1	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-0,3	-1,0	0,7	Zand	20	28	93	69	9	0,65	Rn > 0,5 dus voldoet
	-1,0	-2,0	1,0	Zand	20	38	115	79	10	0,66	Rn > 0,5 dus voldoet
	-2,0	-3,0	1,0	Zand	20	48	135	89	12	0,70	Rn > 0,5 dus voldoet
	-3,0	-4,0	1,0	Zand	20	58	155	99	6	0,40	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-4,0	-5,0	1,0	Zand	20	68	175	109	14	0,72	Rn > 0,5 dus voldoet
	-5,0	-6,0	1,0	Zand	20	78	195	119	11	0,60	Rn > 0,5 dus voldoet
DKM3	4,1	2,5	1,6	Klei	16	0	25	25	1	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	2,5	1,6	0,9	Zand	18	0	41	41	5	0,54	Rn > 0,5 dus voldoet
	1,6	1,0	0,6	Zand	20	5	54	47	9	0,74	Rn > 0,5 dus voldoet
	1,0	-1,8	2,8	Klei/zand	16	34	98	64	1	n.v.t.	Cohesieve lagen afgewisseld met zandlagen < 1m, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-1,8	-3,0	1,2	Zand	20	44	122	76	7	0,50	Rn > 0,5 dus voldoet
	-3,0	-4,0	1,0	Zand	20	54	142	86	10	0,64	Rn > 0,5 dus voldoet
	-4,0	-5,0	1,0	Zand	20	64	162	96	7	0,47	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-5,0	-6,8	1,8	Zand	20	84	198	114	12	0,64	Rn > 0,5 dus voldoet
	-6,8	-7,7	0,9	Klei	16	93	213	119	2	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-7,7	-9,0	1,3	Zand	20	106	239	132	8	0,45	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
-9,0	-10,0	1,0	Zand	20	116	259	142	8	0,40	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.	
DKM4	5,1	2,5	2,6	Klei	16	0	42	42	2	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	2,5	1,6	0,9	Klei	16	0	56	56	6	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	1,6	0,0	1,6	Klei/zand	16	16	82	65	9	n.v.t.	Cohesieve lagen afgewisseld met zandlagen < 1m, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	0,0	-1,0	1,0	Zand	20	26	102	75	4	0,30	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-1,0	-2,0	1,0	Klei/zand	16	36	118	81	2	n.v.t.	Cohesieve lagen afgewisseld met zandlagen < 1m, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-2,0	-3,0	1,0	Zand	20	46	138	91	9	0,58	Rn > 0,5 dus voldoet
	-3,0	-4,0	1,0	Zand	20	56	158	101	10	0,60	Rn > 0,5 dus voldoet
	-4,0	-5,0	1,0	Zand	20	66	178	111	8	0,49	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-5,0	-6,0	1,0	Zand	20	76	198	121	4	0,19	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	DKM7	3,7	1,6	2,1	Klei	16	0	33	33	1	n.v.t.
1,6		-0,7	2,3	Klei	16	23	70	47	1	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
-0,7		-2,0	1,3	Zand	20	36	96	60	11	0,76	Rn > 0,5 dus voldoet
-2,0		-3,0	1,0	Zand	20	46	116	70	10	0,69	Rn > 0,5 dus voldoet
-3,0		-4,0	1,0	Zand	20	56	136	80	7	0,53	Rn > 0,5 dus voldoet
-4,0		-5,0	1,0	Zand	20	66	156	90	9	0,60	Rn > 0,5 dus voldoet
-5,0		-6,0	1,0	Zand	20	76	176	100	11	0,64	Rn > 0,5 dus voldoet
-6,0		-8,0	2,0	Zand	20	96	216	120	5	0,28	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
-8,0		-9,0	1,0	Zand	20	108	236	130	4	0,17	Rn < 0,5 voldoet niet, ook niet over een grotere laagdikte dus mogelijk verwerkingsvloeiing
-9,0		-10,0	1,0	Zand	20	118	256	140	5	0,24	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
DKM8	6,6	3,6	3,0	Klei	16	0	48	48	1	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	3,6	1,6	2,0	Zand	18	20	84	64	7	0,57	Rn > 0,5 dus voldoet
	1,6	0,0	1,6	Zand	20	36	116	80	8	0,57	Rn > 0,5 dus voldoet
	0,0	-2,0	2,0	Zand	20	56	156	100	4	0,24	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-2,0	-4,0	2,0	Zand	20	76	196	120	12	0,63	Rn > 0,5 dus voldoet
	-4,0	-6,0	2,0	Zand	20	96	236	140	11	0,56	Rn > 0,5 dus voldoet
DKM9	5,2	4,2	1,0	Klei	16	0	16	16	4	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	4,2	3,0	1,2	Zand	18	12	38	26	4	0,56	Rn > 0,5 dus voldoet
	3,0	2,0	1,0	Zand	18	22	56	34	2	0,22	Rn < 0,5 voldoet niet, echter laagdikte behorend bij deze piekconusweerstand < 1m dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	2,0	1,6	0,4	Klei	16	26	62	36	1	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	1,6	0,5	1,1	Klei	16	37	80	43	1	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	0,5	-1,0	1,5	Zand	20	52	110	58	1	-0,19	Cohesief stoorlaagje in zandlaag, anders wordt voldaan aan Rn > 0,5
	-1,0	-3,0	2,0	Zand	20	72	150	78	7	0,52	Rn > 0,5 dus voldoet
	-3,0	-5,0	2,0	Zand	20	92	190	98	9	0,57	Rn > 0,5 dus voldoet
	-5,0	-6,0	1,0	Zand	20	102	210	108	8	0,50	Rn > 0,5 dus voldoet
DKM10	3,9	1,6	2,3	Klei	16	0	37	37	1	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	1,6	-0,5	2,1	Klei	16	21	71	50	1	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-0,5	-1,4	0,9	Zand	20	30	89	59	6	0,53	Rn > 0,5 dus voldoet
	-1,4	-1,8	0,4	Klei	16	34	95	61	1	n.v.t.	Cohesieve laag, dus verwerkingsvloeiing n.v.t.
	-1,8	-3,0	1,2	Zand	20	46	119	73	8	0,59	Rn > 0,5 dus voldoet
	-3,0	-4,0	1,0	Zand	20	56	139	83	10	0,65	Rn > 0,5 dus voldoet
	-4,0	-5,0	1,0	Zand	20	66	159	93	11	0,66	Rn > 0,5 dus voldoet
	-5,0	-6,0	1,0	Zand	20	76	179	103	8	0,51	Rn > 0,5 dus voldoet