



Gebiedsontwikkeling Ooijse Graaf

Geotechnische analyse | Ooijse Graaf te Erlecom

6425-270485.R01 5.0 | 24-4-2026

Definitief

K3Delta B.V.



Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Geotechnische analyse
Documentnaam	Gebiedsontwikkeling Ooijse Graaf
Fugro-projectnr.	6425-270485
Fugro-documentnr	6425-270485.R01
Versienummer	5.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Blaeulaan 60A 3528 AD Utrecht Postbus 63 2260 AB Leidschendam 030 602 81 75

Klantgegevens

Klant	K3Delta B.V.
Adres klant	Wanraaij 2, 6673 DN, Andelst
Contactpersoon klant	

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	18 augustus 2025	Concept	Eerste versie voor review			
2.0	20 augustus 2025	Concept	Opmerking verwerkt			
3.0	15 januari 2026	Concept	Versie na second opinion			
4.0	26 februari 2026	Definitief	Eindoplevering			
5.0	24-04-2026	Definitief	Tekstuele aanpassingen			

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
		Waterbouw
		Waterbouw
		Waterbouw

Inhoudsopgave

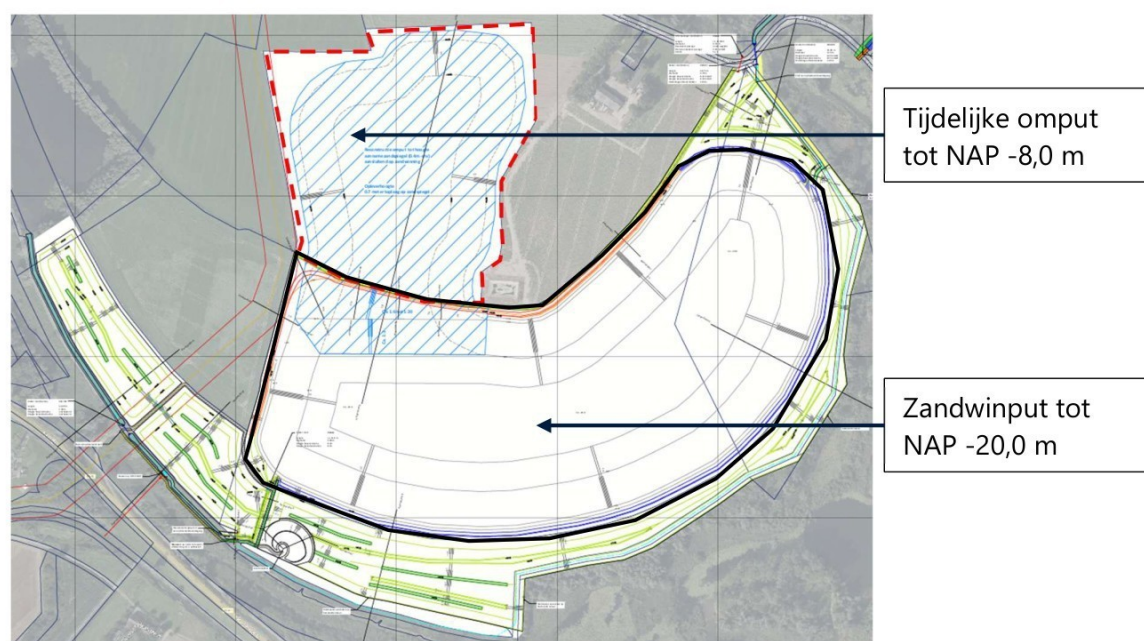
Inhoudsopgave	i
1. Introductie	1
1.1 Projectbeschrijving	1
1.2 Doel en scope	1
1.3 Veiligheidsfilosofie	2
1.4 Leeswijzer	2
1.5 Gebruikte informatie	3
2. Terrein en bodemgesteldheid	4
2.1 Globale beschrijving geologie	4
2.2 Beschikbaar grondonderzoek	5
2.3 Analyse grondonderzoek	6
3. Uitgangspunten	9
3.1 Stabiliteit	9
3.2 Verwekingsvloeiing	11
3.3 Bresvloeiing	12
4. Analyses	14
4.1 Stabiliteit tegen statisch uitschuiven (macrostabiliteit)	14
4.2 Verwekingsvloeiing	16
4.3 Bresvloeiing	18
5. Risicobeschouwing	22
5.1 Algemene risicobeschouwing	22
5.2 Kans op onbeheerst bressen	22
5.3 Randzone	23
6. Aanzet winplan	24
6.1 Inleiding	24
6.2 Aanzet winplan	24
7. Conclusies en aanbevelingen	26
7.1 Conclusies	26
7.2 Aanbevelingen	27
Appendix A Risicobeschouwing - randzone	28
A.1 Randzone	29

1. Introductie

1.1 Projectbeschrijving

In opdracht van K3Delta B.V. (verder: K3) is een stabiliteitsanalyse uitgevoerd voor de open zandwinlocatie Ooijse Graaf te Erlecom. De plas die wordt aangelegd maakt deel uit van de gebiedsontwikkeling Ooijse Graaf, waarbij een natuur- en landschapsverbinding ontstaat vanaf de Waal. Het project omvat een optimalisatie van de huidige zandwinning waar in 2021 door Sweco een stabiliteitsonderzoek is opgesteld [1].

In onderstaand figuur is het voorgestelde plan weergegeven voor de bestaande zandwinput en de tijdelijke omlput. Op basis van het onderzoek van Sweco is een put gedimensioneerd tot NAP -20,0 m met taludhellingen van 1:3 tot 1:4. Voor de optimalisatie is uitgegaan van het toepassen van 1:3 oevertaluds in de gehele put. Voor het uitvoeren van de berekeningen is uitgegaan van een diepte van NAP -25,0 m, wat afwijkt van het in te dienen ontwerp. De rekenresultaten zijn geldig voor zowel een putdiepte van NAP -20,0 m als -25,0 m. De tijdelijke omlput zal tot maximaal NAP -8,0 m worden verdiept, vanwege de aanwezigheid van stoorlagen.



Figuur 1-1. Projectlocatie en voorstel bestaande zandwinput

1.2 Doel en scope

Het doel van dit rapport is om de oevertaluds in de Ooijse Graaf te toetsen aan de criteria zoals voorgeschreven in de CUR 113 [2]. Op basis van deze toetsing wordt gekeken naar de mogelijkheden van optimalisatie van het vergunnings- en werktalud van de zandwinning.

Momenteel heeft de gebiedsontwikkeling een vergunningstalud van 1v:4h en 1v:3h (afhankelijk van locatie) met een vergunde diepte tot NAP -20 m. Optimalisatie betekent

dat de gehele zandwinning een vergunningstalud van 1v:3h krijgt. Voor de vergunningsaanvraag wordt uitgegaan van een maximale diepte van NAP -20,0 m. In de berekeningen is uitgegaan van NAP -25,0 m. de veiligheidsfilosofie voor de put is dan ook gebaseerd op een diepte van NAP - 25,0 m. Voor de toetsing zijn de volgende faalmechanismen beschouwd:

- Macrostabiliteit;
- Verwekingsvloeiing en;
- Bresvloeiing tijdens uitvoering.

De beoordeling van de oeverstabiliteit is uitgevoerd voor zowel de uitvoeringssituatie (zandwinning) als de gebruikssituatie (natuurplas). Ten behoeve van de bestaande belendingen wordt naast de beoordeling van de stabiliteit ook een risicoanalyse uitgevoerd.

De wijze van inwinning bepaalt in sterke mate de veiligheid tijdens de uitvoering (langs de oever). Dit dient vooraf te worden vastgelegd in een (zandwin) winplan. In deze rapportage wordt geen uitgebreid winplan beschreven. Wel wordt hier een aanzet gegeven en worden enkele voorwaarden voor het winplan opgesteld waarbij ervan wordt uitgegaan dat het zand door middel van een profielzuiger wordt gewonnen.

1.3 Veiligheidsfilosofie

Het project is ingedeeld in veiligheidsklasse RC1 uit de NEN 9997-1 [3]. Met betrekking tot het beheersen van uitvoeringsrisico's zoals bres- en verwekingsvloeiingen wordt als uitgangspunt genomen dat de uitvoering (werkwijze) wordt afgestemd op de functie en gebruik van de oever. In deze rapportage wordt conform de Cur 113 Aanbeveling ervan uitgegaan dat bij het winnen van zand nabij oevers die grenzen aan gebouwen, huizen en wegen voldaan wordt aan een RC1 ($\beta = 3,3$) veiligheidsniveau. De bijbehorende faalkanseis is ($P_{f_{eis}/50jr} = 4,83 \times 10^{-4}$). Voor oevers die grenzen aan landbouw- en/of natuurpercelen moet de werkwijze voldoen aan de CUR 113 [2] gestelde veiligheidseis van $P_{f_{eis}} = 0,1$ per kilometer oever.

De hiervoor genoemde veiligheidsoverweging dient door de vergunningverlener te worden geverifieerd.

1.4 Leeswijzer

In dit rapport zullen de geotechnische aspecten over de zandwinning worden besproken op basis van de CUR-aanbeveling 113 "Oeverstabiliteit bij zandwinningen". Deze rapportage bestaat uit de volgende onderdelen:

- Een korte projectomschrijving en overzicht van de verstrekte gegevens (Hoofdstuk 1).
- Een omschrijving van de terrein- en bodemgesteldheid (Hoofdstuk 2).
- Uitgangspunten stabiliteitsanalyse (Hoofdstuk 3).
- Beoordeling op taludafschuiving, verwekingsvloeiing en op bresvloeiing van het onderwatertalud (Hoofdstuk 4).
- Risicobeschouwing van de faalmechanismen bres- en verwekingsvloeiing (Hoofdstuk 5).

- Een eerste aanzet tot een winplan (Hoofdstuk 6).
- Conclusies en aanbevelingen (Hoofdstuk 7).

1.5 Gebruikte informatie

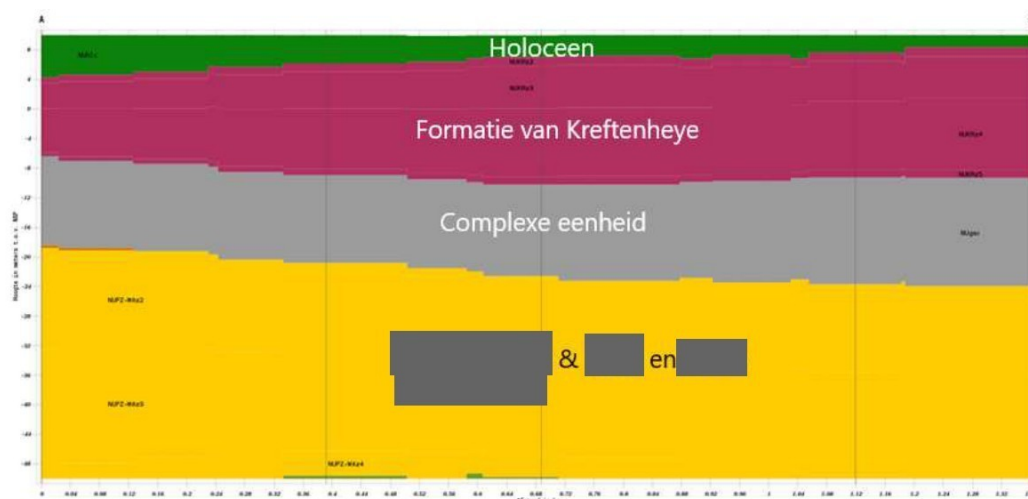
- [1] Sweco, Stabiliteitsbepaling zandwinplas Erlecom Ooijse Graaf en Erlecomse Waard, 2021.
- [2] CROW, „CUR 113 Oeverstabiliteit bij zandwinputten,” 2010.
- [3] NEN, „NEN 9997-1 +C2, Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels,” 2025.
- [4] Fugro, 2421-197355. Rapportage geotechnisch onderzoek, Zandwinput Erlecom, 2021.
- [5] Fugro, 6008-0195-000LAB. Uitbreiding zandwinningput Kraaienhof nabij Erlecom, 2008.
- [6] Rijkswaterstaat, „ Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing,” 2019.
- [7] S. Olson en T. D. Stark, „Yield Strength Ratio and Liquefaction Analysis of Slopes and Embankments,” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, pp. 727-737, Augustus 2003.
- [8] C.v. Rhee, „Slope failure by unstable breaching, ” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 2015.
- [9] M.G. Jefferies & M.P. Davies „Soil classification by the cone penetration test,” *Canadian Geotechnical Journal*, 1991

2. Terrein en bodemgesteldheid

2.1 Globale beschrijving geologie

In figuur 2-1 zijn de geologische formaties tot 50 meter onder NAP ter plaatse van de zandwinning Ooijse Graaf weergegeven. De eerste 5 m betreffen Holocene afzettingen, bestaande uit losgepakt zand. De zandlagen waarin voornamelijk zand gewonnen wordt (tot ca. NAP -20 m) behoren tot de Formatie van Kreftenheye (rivierafzettingen).

Conform het REGIS II model liggen onder de formatie van Kreftenheye een gestuwde lagencomplex hoofdzakelijk uit een afwisseling van grof en matig grove zandlagen en (zandige) klei, die door ijs (glaciale processen) op elkaar zijn geperst, waardoor een complex, heterogeen pakket ontstaat. Hieronder (vanaf ca. NAP -20 m) liggen oudere formaties (Waalre & Peize en formatie van Oosterhout) die veelal bestaan uit zeer vastgepakt zand.



Figuur 2-1: Ondergrond Ooijse Graaf conform 'BRO REGIS II v2.2.3' model

Op basis van de op diepte gekomen mechanische boringen B1, B5, B7 en B10 (*kenmerk: 6008-0195-000*) kan worden gesteld dat deze gestuwde laag ter plaatse van de projectlocatie hoofdzakelijk bestaat uit een afwisseling van grof en matig grof zand, met weinig klei, zandige klei, fijn zand en grind (tabel 2-1).

Tabel 2-1: Opbouw gestuwde grondlaag projectlocatie Erlecom

Boring	Begin diepte Waalre, Peize & Oosterhout Formatie [m NAP]	Eind diepte boring [m NAP]	Boorbeschrijving
B1	-20,0	-32,0	<u>ZAND</u> , uiterst grof, zwak siltig
B5	-20,0	-25,0	<u>ZAND</u> , uiterst grof, zwak siltig
B7	-20,0	-34,0	<u>ZAND</u> , zeer grof, zwak siltig
B10	-20,0	-26,0*	<u>ZAND</u> , uiterst grof – matig grof, zwak siltig
* Bij boring B10 is vanaf NAP -24,0 m tot de einddiepte (NAP -26,0 m) zwak zandig silt en fijn zand aangetroffen.			

2.2 Beschikbaar grondonderzoek

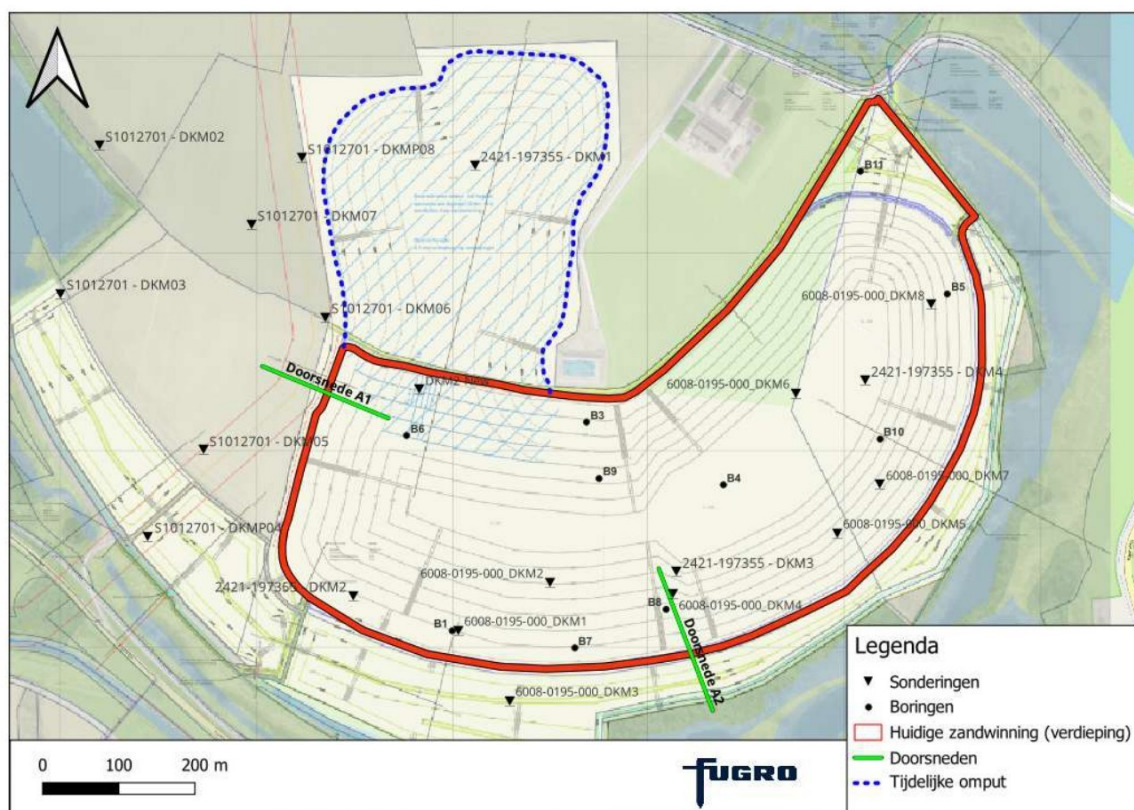
Voor de beoordeling van de bodemopbouw is het volgende grondonderzoek beschikbaar:

- 8 sonderingen en 11 mechanische boringen Fugro 2008, Kraaienhof, 6008-0195-000;
- 4 sonderingen Fugro 2021, Zandwinput Erlecom, 2421-197355;
- 8 sonderingen Fugro, Cur onderzoek Ooijse Graaf Erlecom, S1012701.

Hiermee wordt voldaan aan de eisen met betrekking tot het minimaal aantal benodigd grondonderzoek conform de eenvoudige toets van CUR113 tabel 1 [2].

In figuur 2-2 is een situatietekening weergegeven van het in het verleden en huidige uitgevoerde grondonderzoek. Opgemerkt dient te worden dat de sonderingen (projectnr: 6008-0195-000) die onderdeel uitmaken van het door Sweco opgestelde stabiliteitsonderzoek [1] binnen Fugro niet beschikbaar zijn als digitale bestandsformaten (GEF).

Voor het stabiliteitsonderzoek van de optimalisatie van zandwinning Ooijse Graaf te Erlecom wordt in het Sweco onderzoek uit 2021 als vertrekpunt gehanteerd. De daarin opgenomen sonderingen zijn betrokken bij de globale bodemschematisering voor de zandwinput. Waar onze data of methodische overwegingen daartoe aanleiding geven, wordt er afgeweken van het stabiliteitsonderzoek van Sweco [1].



Figuur 2-2: Beschikbaar grondonderzoek op projectlocatie

2.2.1 Beoordeling grondonderzoek

2.2.1.1 Sonderingen

Voor de beoordeling conform CUR 113 [2] moet per 0,3 km oever minimaal vier sonderingen worden uitgevoerd tot een diepte van 1,5 maal de rekenputdiepte Hr. Uitgaande van een geplande plasdiepte van NAP –25,0 m en een maaiveldhoogte van NAP +8,9 m bedraagt de rekenputdiepte circa 34 m. Volgens de richtlijn zouden de sonderingen daarom moeten worden doorgezet tot circa NAP –42,0 m ($1,5 \times Hr$), zodat ook de dieper gelegen grondlagen in beeld komen.

Deze aanbeveling is gebaseerd op de veronderstelling dat een glijvlak, bijvoorbeeld ontstaan door verwekingsvloeiing, niet alleen door het talud maar ook door onderliggende zandlagen kan lopen. Verwekingsvloeiing treedt echter uitsluitend op in losgepakte zandlagen met een minimale dikte van circa 2 m a 5 m (CUR-aanbeveling 113, 2010 & HRTVZ, 2012). Uit de geologische scan (§2.1) blijkt dat de ondergrond vanaf NAP –25,0 m voornamelijk bestaat uit dicht gepakt (overgeconsolideerd) zand en lokaal siltlagen. Dit beeld wordt bevestigd door het geotechnisch onderzoek (zie tabel 2-1 en sonderingen DKMP04, DKMP05 en DKMP06)

De aanwezigheid van verwekingsgevoelige lagen onder NAP –25 m wordt daarom als weinig waarschijnlijk beschouwd. Daarnaast konden sonderingen niet dieper worden uitgevoerd vanwege te hoge conusweerstand voor de zwaarste beschikbare sondeerwagens (Bijlage A).

Conclusie: De combinatie van gegevens uit het Dinoloket en eerder uitgevoerd grondonderzoek biedt voldoende basis voor een betrouwbaar stabiliteitsadvies voor een plas tot NAP –25 m. Het advies uit CUR 113 om sonderingen tot minimaal 0,5 Hr onder de putbodem uit te voeren is voor dit project technisch niet haalbaar. Gezien de geologische opbouw en de hoge conusweerstand is het daarnaast onwaarschijnlijk dat de dieper gelegen lagen verweking vertonen als gevolg van zandwinning in de bovenliggende zandige pakketten.

2.2.1.2 Boringen

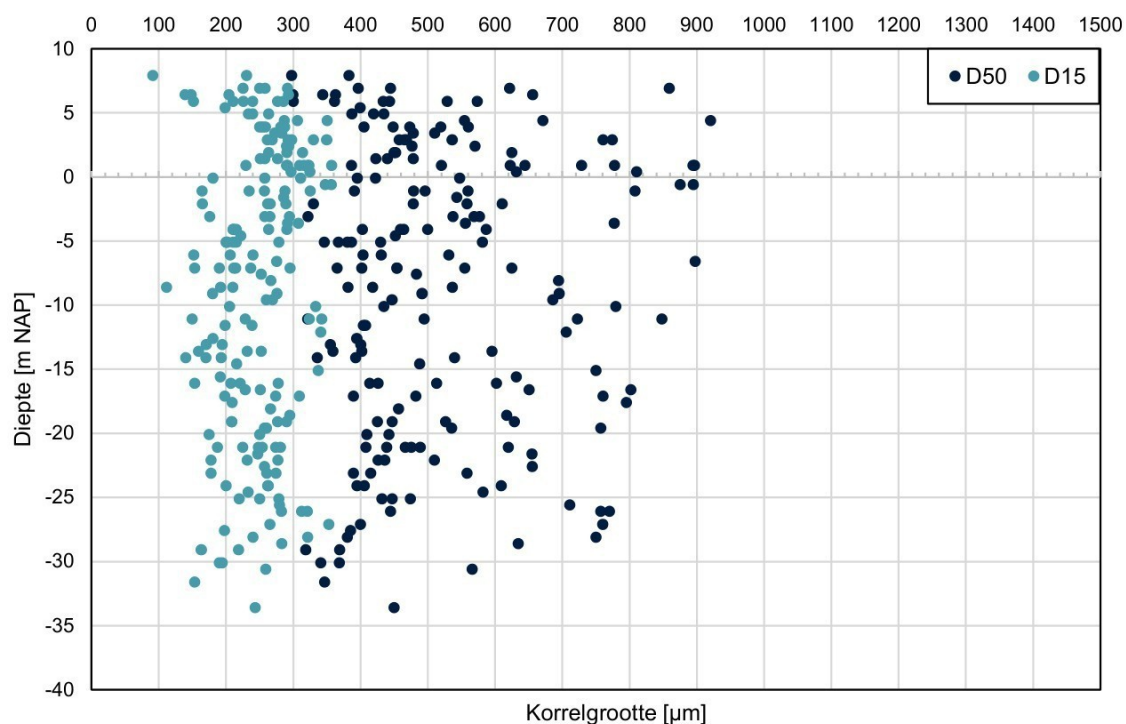
Voor een beoordeling conform CUR 113 dient per 0,3 à 1,0 km oever een boring tot de putdiepte te worden uitgevoerd. Het beschikbare onderzoek geeft aan dat er 7 mechanische boringen met diverse einddiepten boven putbodem en 4 mechanische boringen tot putdiepte (of dieper) zijn geplaatst. Conform de CUR 113 dienen er voor de voorgestelde winning minimaal 3 boringen uitgevoerd te zijn. Hiermee voldoen de uitgevoerde boringen aan de CUR-aanbeveling.

2.3 Analyse grondonderzoek

2.3.1 Zandgrofte

Voor de analyse van de zandgrofte zijn de D_{15} en de D_{50} (zandmediaan) bepaald van de boringen B1 t/m B11 van het door Fugro in 2008 uitgevoerde grondonderzoek [5] en de boringen B103, B105 en B107 welke zijn aangeleverd door de opdrachtgever. De D_{15} en D_{50} zijn

bepaald door logaritmisches te interpoleren tussen korrelfracties. De D_{15} en D_{50} van alle boringen zijn weergegeven in figuur 2-3.



Figuur 2-3: D15 & D50 boringen Ooijse Graaf

Uit figuur 2-3 kan worden geconcludeerd dat het zand op de projectlocatie bestaat uit vrij grove korrels met een gemiddelde D_{50} van 523 μm en D_{15} van 248 μm . Voor de semi-probabilistische risicobeschouwing in hoofdstuk 5 wordt gebruikt gemaakt van de gemiddelde laag karakteristieke D_{10} , D_{15} en D_{50} waarden. Deze waarden zijn een conservatieve schatting van het gemiddelde, waarbij onzekerheid en spreiding in de metingen zijn meegenomen. De statistische parameters van de korrelverdelingen zijn weergegeven in tabel 2-1.

Tabel 2-2: Statistische parameters korrelverdelingen, uitgaande van lognormale verdeling

	Gemiddelde μ [μm]	Standaarddeviatie σ [μm]	Karakteristieke μ [μm]
D_{10}	195	59	152
D_{15}	248	53	208
D_{50}	523	148	415

2.3.2 Grondlagen & bodemopbouw

Uit het grondonderzoek [4], [5] blijkt dat de ondergrond is opgebouwd uit een afwisseling van dicht gepakte lagen grof en middelgrof zand, met lokaal op wisselende dieptes dunne siltige/kleiige zandlagen. Onder ca. NAP +0 m neemt het aandeel vastgepakt zand toe.

De sonderingen DKM1-NIEUW en DKM1-V2 uit het stabiliteitsonderzoek van Sweco [1], waar dunne kleilagen zijn aangetroffen, vallen niet onder het projectgebied van de huidige winning en de optimalisatie. Deze sonderingen- en de daarin gevonden cohesieve lagen worden voor de bodemopbouw en verdere analyses buiten beschouwing gelaten.

Voor de schematisering van de bodemopbouw zijn de sonderingen DKM02 (2421-197355) en DKM03, waarop NAP -17.8 m een siltige laag is aangetroffen, als maatgevend beschouwd, deze bodemopbouw is weergegeven in tabel 2-2.

Tabel 2-3: Maatgevende bodemopbouw, o.b.v. DKM02 (2421-197355) en DKM03

Grondlaag	Bovenkant laag [m NAP]	γ/γ_{sat} [kN/m ³]	c' [kPa]	φ' [°]
<u>ZAND</u> , losgepakt	+10,0	17/19	0,0	30
<u>ZAND</u> , vastgepakt	-1,4	19/21	0,0	35
<u>ZAND</u> , matig vastgepakt	-4,8	18/20	0,0	32,5
<u>ZAND</u> , vastgepakt	-12,1	19/21	0,0	35
<u>ZAND</u> , matig vastgepakt	-14,4	18/20	0,0	32,5
<u>SILT</u> , zwak zandig, matig vastgepakt ¹⁾	-17,8	21/21	2,5	27,5
<u>ZAND</u> , siltig, matig vastgepakt ²⁾	-29,4	19/21	0,0	32,5
Opmerkingen bij de tabel γ en γ_{sat} = volumiek gewicht; sat = verzadigd c' = effectieve cohesie φ' = effectieve hoek van inwendige wrijving 1) SILT, kleilig matig vastgepakt, alleen aangetroffen in sondering DKM03 van ca. NAP -17,8 m tot NAP -23,2 m; 2) ZAND, siltig matig vastgepakt, met genormeerde conusweerstand <u>groter</u> dan de in tabel 2.b-1 (NEN 9997-1) gegeven waarde van 12 Mpa, waardoor de rechterwaarden in de tabel (hoog karakteristiek) gehanteerd mogen worden.				

3. Uitgangspunten

3.1 Stabiliteit

3.1.1 Normen en richtlijnen

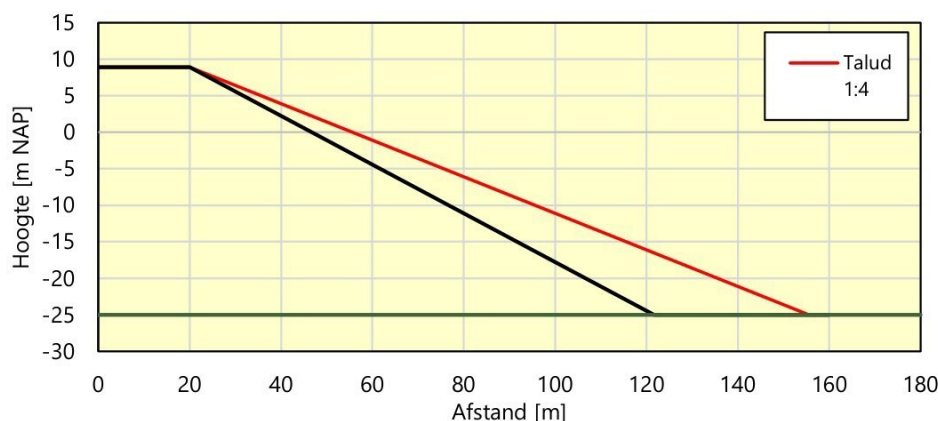
Voor het opstellen van het stabiliteitsadvies zijn de volgende normen en richtlijnen in acht genomen:

- I. [CUR 113] Aanbeveling Oeverstabiliteit bij zandwinputten, CUR, Gouda, 2010
- II. [NEN 9997-1] Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1, algemene regels, 2025
- III. [SHZV, 2019] Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiingen van Rijkswaterstaat in het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium, 2019
- IV. [HRTV, 2012] Handreiking toetsing voorland Zettingsvloeiing, RWS, 2012

De CUR 113 geeft aan dat voor een eenvoudige analyse een evenwichtsfactor van 1,3 moet worden gehanteerd, als gebruik gemaakt wordt van karakteristieke waarden zoals aangegeven in NEN 6740. Aangezien NEN 6740 is vervallen, is uitgegaan van NEN 9997-1, waarbij de evenwichtsfactor tenminste 1,0 moet bedragen bij rekenwaarden van de grondparameters.

3.1.2 Geometrie

De hoogte van het maaiveld wordt aangehouden op NAP +8,9 m. De basis voor dit rapport is een ontwerp van de zandwinput tot een diepte van NAP -25 m, met een vergunningstalud van 1v:4h en 1v:3h. Deze profielen zijn het uitgangspunt voor de geotechnische analyses van de zandwinput. In het vergunningsontwerp wordt uitgegaan van een maximale diepte van NAP - 20,0 m. Daarnaast is voor de tijdelijke omput een diepte van NAP -8,0 m aangehouden met ook 1:3 taluds. Op basis van deze analyses kan bijvoorbeeld besloten worden het profiel aan te passen om (statische) stabiliteit te garanderen. Het vergunningsprofiel is weergegeven in Figuur 3-1.



Figuur 3-1: Ontwerpprofiel gebiedsonwikkeling Ooijse Graaf

3.1.3 (Grond)waterstanden en stijghoogten

De gebiedsontwikkeling valt onder peilgebied OOOY110 en heeft een streefpeil van NAP +9,15 m. In dit peilgebied en rondom de projectlocatie staan drie TNO peilbuizen. Voor de in dit rapport gehanteerde waterstanden is van deze drie peilbuizen het gemiddelde genomen en de GLG geselecteerd:

- Het gemiddelde waterpeil in de put is aangehouden op NAP +8,7 m
- Het lage waterpeil in de put is aangenomen op NAP +8,1 m

Voor stabiliteitsanalyses is een laag waterpeil in dit geval conservatief.

3.1.4 Belendingen

Volgens de CUR 113 is conform de eenvoudige risicoanalyse het risico op schade klein genoeg wanneer er op een afstand (randzone) van 2 à 3 maal de winningsdiepte (gerekend vanaf de insteekdiepte van de diepe zandwinning) geen permanente belendingen aanwezig zijn. Rondom de uitbreiding van de zandwinning in de Ooijse Graaf zijn de volgende permanente belendingen aanwezig:

- Provinciale weg: N840 (op ca. 150 m van de zandwinning);
- Restaurant (op ca. 200 m van de zandwinning);
- Eén boerderij (op ca. 100 m van de zandwinning);

Het grotendeel van de belendingen heeft een erg klein risico op schade. alleen bevindt zich een mestdepot opgebouwd uit grondwallen op het perceel van Eck agrarisch nabij de zandwinning. Het mestdepot, opgebouwd uit grondwallen, bevindt zich op het perceel ten noorden van de zandwinput en is niet als een permanente belending beschouwd.

3.1.5 Bovenbelasting

Voor maatgevende omstandigheden wordt conform het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [TRWG, 2001] uitgegaan van een ongedraineerde bovenbelasting van 13,3 kN/m² over een breedte van 2,5 m. Er is een spreidingshoek van 22,5° aangehouden.

Verder staat op tekening '20240830 Technische Tekening uitbreiding Ooijse Graaf-R00' aangegeven dat over de gehele zuidkant van de gebiedsontwikkeling een scheidende kade is geschematiseerd tot een hoogte van NAP +10,0 m.

De bovenbelasting voor de zuidkant van de zandwinning is de som van de ongedraineerde bovenbelasting en de belasting door de kade. Hieruit volgt een bovenbelasting van 23,5 kN/m² met een spreidingshoek van 22,5°.

Er wordt geen rekening gehouden met mogelijke aardbevingen die invloed kunnen hebben op de stabiliteit van de taluds. De omgeving Ooijse Graaf geldt niet als risicogebied voor aardbevingen. Conform de kaartlaag 'Aardbeving - mercallizone' (te vinden via atlasleefomgeving.nl) ligt het gebied niet in een zone waar risico op aardbevingen aanwezig is.

3.1.6 Partiële factoren

Vanwege de aanzienlijke afstand tot infrastructuur en bebouwing en de geringe gevolgen voor de eerder genoemde wateropslag is voor de zandwininput uitgegaan van een veiligheidsniveau RC1 [NEN 9997-1]. Dit correspondeert met een betrouwbaarheidsindex (β) van 3,3 en een $P_{\text{feis}/50\text{jaar}}$ van $4,83 \cdot 10^{-4}$.

De rekenwaarde voor de grondparameters zijn verkregen door de representatieve waarden te delen door de materiaalfactoren conform tabel A.4a uit [NEN 9997-1] en staan in tabel 3-1. De rekenwaarden die hieruit volgen zijn weergegeven in tabel 3-2.

Tabel 3-1: Materiaalfactoren [tabel A.4a NEN 9997-1]

Grondparameter	Partiële factor bij veiligheidsklasse RC1 [-]
Volumieke gewicht $\gamma/\gamma_{\text{sat}}$	1,0
Effectieve cohesie c'	1,3
Tangens van hoek van inwendige wrijving $\tan(\varphi')$	1,2

Tabel 3-2: Sterkteparameters – rekenwaarden

Grondlaag	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	c' [kPa]	φ' [°]
ZAND, losgepakt	17/19	0,0	25,7
ZAND, vastgepakt	19/21	0,0	30,3
ZAND, matig vastgepakt	18/20	0,0	28,0
ZAND, vastgepakt	19/21	0,0	30,3
ZAND, matig vastgepakt	18/20	0,0	28,0
SILT, zwak zandig, matig vastgepakt	21/21	1,9	23,5
ZAND, siltig, matig vastgepakt	19/21	0,0	28,0

3.2 Verwekingsvloeiing

3.2.1 State parameter

De gevoeligheid voor verweking wordt beoordeeld met de state parameter. De state parameter is het verschil tussen het actuele poriëngetal van het zand en het poriëngetal van het zand in

critical state bij dezelfde spanning. De state parameter is daardoor een maat van verwekingsgevoeligheid van zand.

Een zandlaag met state parameter (ψ) $> -0,05$ wordt verondersteld gevoelig te zijn voor verweking. De state parameter wordt bepaald volgens de methode uit de Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing (Rijkswaterstaat, 2019) met de volgende uitgangspunten:

- Sondeerwaarden worden gemiddeld over een laagdikte van 1 m.
- De state parameter wordt bepaald voor grondlagen die uit zand bestaan en een 'soil type index' $I_c < 2,54$ hebben, conform correlatie van Jeffries en Davies [9].

3.2.2 Bepalen ψ_{5m}

ψ_{5m} is het gemiddelde van de state parameter over in totaal 5 m (verticaal) van de meest verwekingsgevoelige sondeerwaarde gelegen tussen het maaiveldniveau van de oever en de toekomstige bodem van de plas.

3.3 Bresvloeiing

3.3.1 Uitgangspunten analyse bresvloeiing

De kans dat een bresvloeiing wel of niet optreedt wordt in dit rapport ingeschat met behulp van het bresproces van Van Rhee [8] en de gedetailleerde beoordeling van het faalmechanisme met HMBreach. Hiervoor wordt de korrelgrootte (D_{50}/D_{15}) als stochast (Van Rhee) of conform boringen over de diepte (HMBreach) in de berekening meegenomen. De overige parameters zoals temperatuur, porositeit, hoek van inwendige wrijving worden als vaste waarden in de berekening meegenomen. De parameters voor de berekeningen voor het mechanisme bresvloeiing zijn weergegeven in tabel 3-3. Bij de toepassing van de methode van Van Rhee wordt uitgegaan dat D_{15} en D_{50} voor 100% gecorreleerd zijn.

Tabel 3-3: Parameters voor modelberekening bresvloeiing

Symbol	Parameter	Waarde	Eenheid	Toelichting
T	Temperatuur water	10	°C	
ρ_{zand}	Dichtheid zandkorrel	2650	kg/m ³	
n_0	Porositeit zand	0,38	[-]	Voor een mengsel van fijn en grof gepakt zand varieert n tussen 0,3 en 0,45. Voor Erlecom wordt uitgegaan van matig vast gepakt zand $n \approx 0,38$
φ	Hoek van inwendige wrijving zand	25	°	Zie tabel 3-1
	Thickness top	1	m	HMBreach parameter
	Froude	2	[-]	HMBreach parameter
	Concentration	12	%	HMBreach parameter
	Retrogression velocity	1	mm/s	HMBreach parameter

Symbool	Parameter	Waarde	Eenheid	Toelichting
	FlowWidth0	1	m	HMBreach parameter

4. Analyses

4.1 Stabiliteit tegen statisch uitschuiven (macrostabiliteit)

Bij verlies van macrostabiliteit is er sprake van een evenwichtsverlies of afschuivingen langs een min of meer cirkelvormig schuifvlak. Oorzaken van het optreden van een afschuiving kunnen onder andere een boven belasting of een steile taludhelling zijn.

Voor het vergunningstalud is een beoordeling van de statische stabiliteit uitgevoerd met behulp van het programma D-Stability, waarbij gebruikt gemaakt wordt van de Bishop methode.

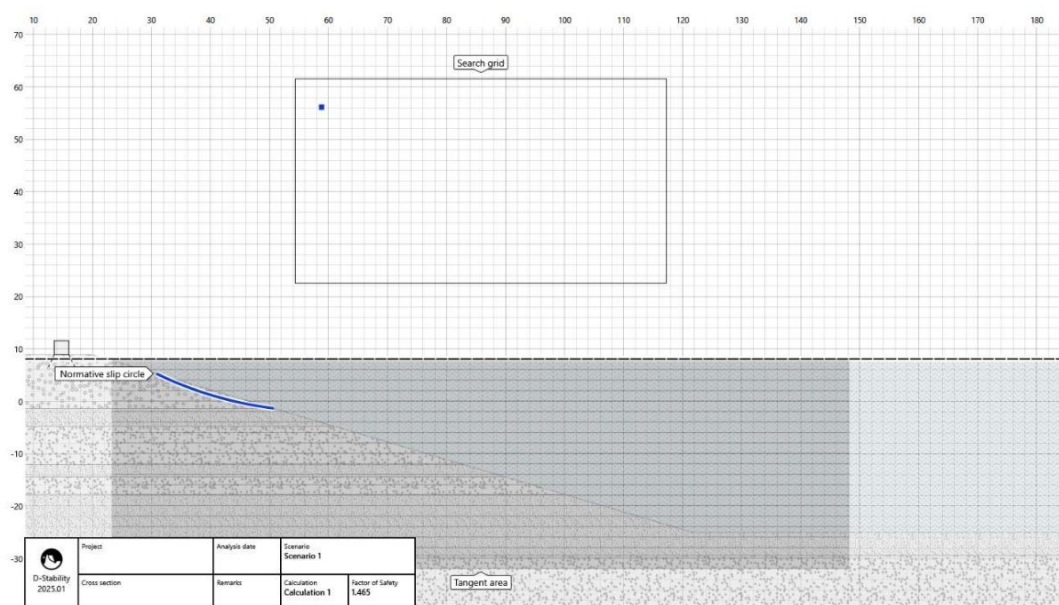
Voor de statistische stabiliteitsanalyse is de maatgevende situatie op afschuiving onderzocht. Hierbij is uitgegaan van een talud met een helling van maximaal 1:3 tot putdiepte. Wanneer bij deze situatie de stabiliteit voldoet aan de norm (veiligheidsfactor $\geq 1,0$), dan zal een eventueel flauwer of minder diep werktalud, waarin de dynamische invloeden van het winningproces zijn verwerkt, statisch voldoen.

De bodemopbouw die hierbij is gehanteerd is weergegeven in tabel 2-2. De resultaten van de stabiliteitsberekeningen van de noord- en zuidkant van de zandwinning en de daarbij behorende maatgevende glijcirkels zijn weergegeven in de volgende paragrafen.

Voor de tijdelijke omput is geen aanvullende berekening uitgevoerd, aangezien deze niet maatgevend zal zijn boven de twee berekeningen van de diepere put. De resultaten uit die berekeningen zullen ook gelden voor de tijdelijke omput.

4.1.1 Doorsnede A1

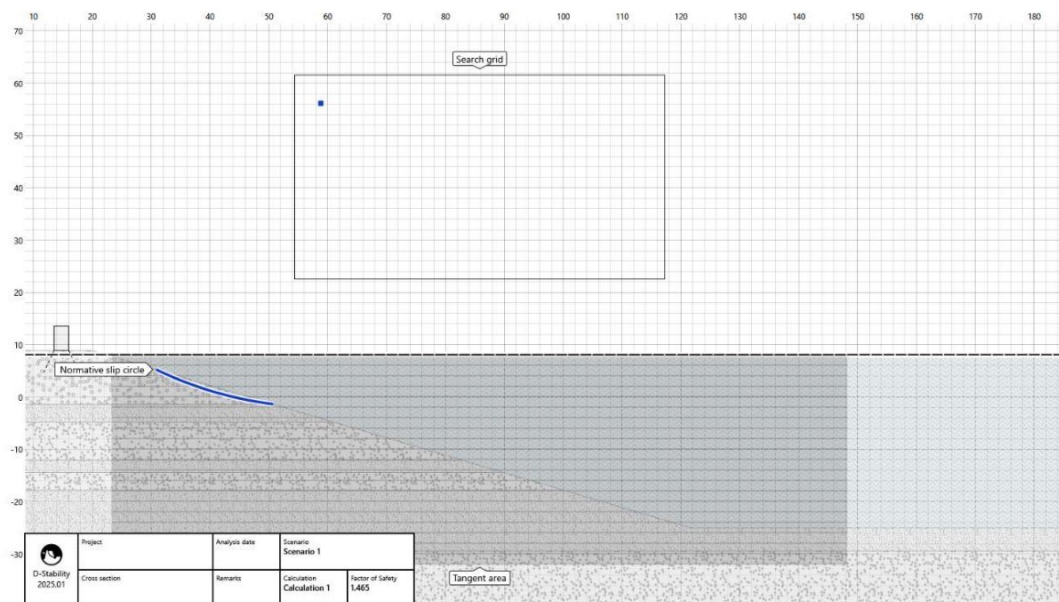
Met behulp van D-Stability is de maatgevende glijcirkel gevonden, zie figuur 4-1. Hieruit volgt een stabiliteitsfactor van 1,47 bij deze bodemopbouw. Hieruit volgt dat aan de noordzijde van de zandwinning zowel een 1v:4h als een 1v:3h talud statisch voldoet op macrostabiliteit.



Figuur 4-1: Maatgevend glijvlak noordkant talud 1:3 (SF = 1,47)

4.1.2 Doorsnede A2

Met behulp van D-Stability is de maatgevende glijcirkel gevonden, zie figuur 4-2. Hieruit volgt wederom een stabiliteitsfactor van 1,47 bij deze bodemopbouw. Hieruit volgt dat aan de zuidzijde van de zandwinning zowel een 1v:4h als 1v:3h talud voldoet op macrostabiliteit.



Figuur 4-2: Maatgevend glijvlak zuidkant talud 1:3 (SF = 1,47)

4.2 Verwekingsvloeiing

4.2.1 Inleiding

Verwekingsvloeiing is het verschijnsel waarbij een pakket met verzadigd los gepakt zand plotseling verweekt. Hierdoor ontstaat een soort drijfzand. De onderlinge contacten tussen zandkorrels neemt hierdoor sterk af en zo ook de schuifsterkte van het pakket. Hierdoor neemt de taludstabiliteit af en kan een deel van het talud gaan vloeien en pas bij een veel flauwer talud tot stilstand komen.

Als de verweking aan de teen van het talud begint, zal daar het zand ook als eerste 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, ervaringen uit de praktijk onder schrijven dit proces.

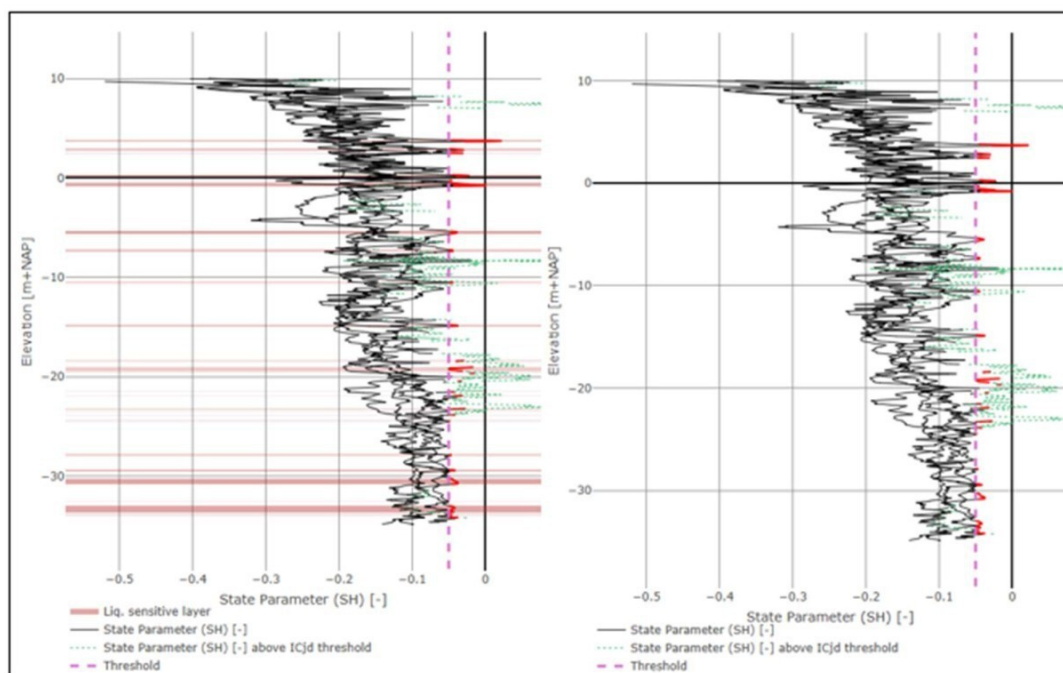
4.2.2 State parameter

Voor de beoordeling op verwekingsvloeiing zijn alle sonderingen binnen de huidige winning (en daarmee de optimalisatie) geselecteerd, dit betreffen de sonderingen DKM2 t/m DKM4 (2421-197355) en DKMP04 t/m DKM06 (S1012701). Ter beeldvorming zijn voor de grafieken ook de sonderingen van de omgeving meegenomen, zie figuur 4-3. Uit de analyse van de state parameter blijkt dat er geen verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn in het gebied van de huidige winning. De enige lagen die gevonden zijn, zijn minder dan 1 m dik en volgens de critical state concept kunnen deze lagen niet een verwekingsvloeiing veroorzaken.

De verwekingsgevoelige lagen die in de stabiliteitsanalyse van Sweco [1] zijn geconstateerd zitten in de sonderingen DKM1, DKM2 – V2 en DKM1 – Nieuw.

DKM1-Nieuw valt buiten de projectlocatie en wordt hier buiten beschouwing gelaten. Voor de twee resterende sonderingen DKM1 en DKM2-V2 uit het Sweco rapport zijn o.b.v. relatieve dichtheid (Baldi-correlatie) beoordeeld of verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn. In het rapport is aangegeven dat hier twee lagen van respectievelijk 1,3 m en 1,5 m gevonden. De Handreiking Zettingsvloeiingen en de CUR 113 [2] geven aan dat verwekingsgevoelig zand over een minimale laagdikte aanwezig moet zijn om metastabiliteit van het onderwatertalud te kunnen veroorzaken; die ondergrens ligt waarschijnlijk tussen 2 m - 5 m. Lagen die dunner zijn dan deze bandbreedte gelden in beginsel niet als maatgevend voor het ontstaan van een verwekingsvloeiing.

In lijn hiermee wordt in de richtlijnen gesteld dat wanneer slechts een dunne zandlaag los gepakt is en de omringende lagen voldoende sterkte bezitten, de metastabiliteit van dat dunne pakket wordt gecompenseerd en niet leidt tot metastabiliteit van het gehele talud. De boringen rondom DKM2-V2, de overige sonderingen en de verwekingsanalyse gebaseerd op de state parameter laten zien dat de omringende grond voldoende sterkte tegen verweking bezit.

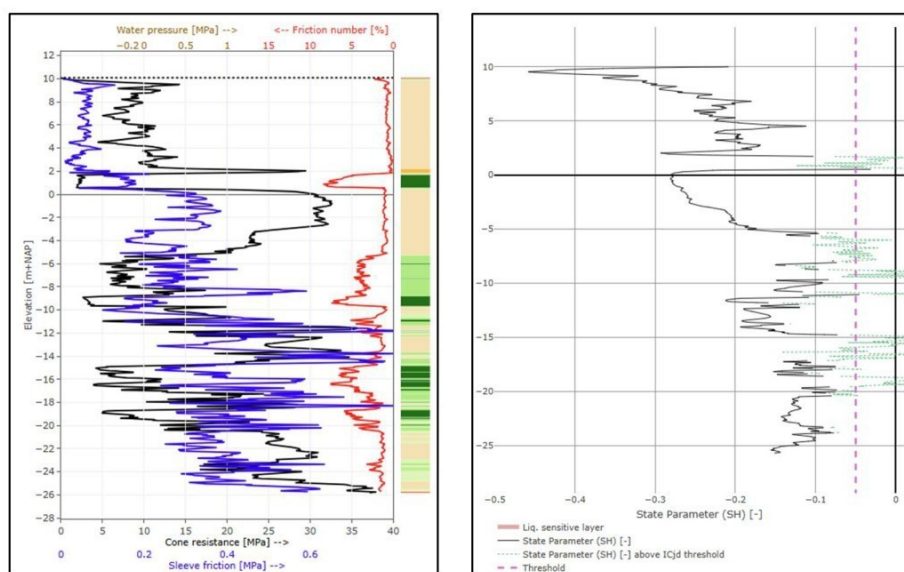


Figuur 4-3: State parameter van de sonderingen DKMP04, DKM05 en DKM2 t/m DKM4, met in het rood gearceerd (horizontale lijnen in de linker grafiek) de mogelijk verweekbare lagen o.b.v. 'Soil type index' (Jeffries en Davies), waarbij in de rechter grafiek is weergegeven dat geen van deze lagen groter is dan 1,0 m.

Op basis van de uitgevoerde analyse en de gehanteerde uitgangspunten wordt geconcludeerd dat binnen de huidige winning geen verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn die leiden tot stabiliteitsverlies. De berekende state parameter voldoet aan de eis $\psi < -0.05$ en of de laagdikte van de zandlaag is onvoldoende dik om verweking te veroorzaken. Een nadere beoordeling op verwekingsvloeiing is derhalve niet noodzakelijk voor het huidige winningsgebied (en daarmee de optimalisatie van de zandwinput). De benadering van Sweco in 2021 wordt als erg conservatief beschouwd en de gevonden lagen vormen geen risico m.b.t. een verwekingsvloeiing.

Conform de CUR 113 [2] is het niet nodig om als beheersmaatregel een randzone te hanteren ten behoeve van het risico op verweken.

Voor de tijdelijke omput is DKM1 beschouwd, zie onderstaand Figuur 4-4. Op basis van de stateparameter is aangetoond dat tot een diepte van NAP -25 m geen verwekingsgevoelige lagen voorkomen. Tussen NAP +2,0 en NAP +0,5 m wordt een cohesieve laag gevonden, welk geen risico is op verweking. Dit kan echter wel een lastig te winnen zijn en zal vermoedelijk met een cutter- of graafwielzuiger gewonnen moeten worden, voordat het diepere zand gewonnen kan worden. Daarnaast zijn tussen NAP -6,0 m en NAP -10 m cohesieve lagen gevonden. Afhankelijk van de situatie bij uitvoering dient te blijken of een diepte van NAP -8,0 m haalbaar is. Aangezien geen verwekingsgevoelige lagen zijn gevonden is een beoordeling op verwekingsvloeiing niet noodzakelijk.



Figuur 4-4: Sondering DKM1 binnen gebied omput en berekende state parameter

4.3 Bresvloeiing

4.3.1 Eenvoudige beoordeling

Om de kans op een beheerst bresproces (van het winzuigen) te vergroten moeten conform de CUR 113 aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

1. Voldoende taludstabiliteit voor afschuiving en/of verweking;
2. De grondlagen moeten zodanig zijn, dat een regelmatig bresproces mogelijk is;
3. 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.

In de volgende paragrafen zijn de bovenstaande voorwaarden nader toegelicht voor de situatie van gebiedsontwikkeling Ooijse Graaf.

4.3.1.1 Taludstabiliteit

De statische stabiliteit is beschouwd in §4.1. Uit de analyse volgt dat taluds met een helling van 1:3 voldoet aan de norm conform CUR 113 [2]. De kans op verwekingsvloeiing is beschouwd in §4.2. Hieruit volgt dat er zich geen verwekingsgevoelige lagen bevinden in de put die een verwekingsvloeiing kunnen veroorzaken en hierdoor vormt dit dus geen risico voor de zandwinning. Dit geldt voor zowel de de zandwininput als de tijdelijke omput.

4.3.1.2 Grondlagen

Voorwaarden die aan de grond worden gesteld conform CUR 113 [2] voor een beheerst bresproces zijn dat:

1. De grond uit niet cohesief materiaal bestaat.
2. De dikte van de stoorlagen van klei of veen ten hoogste 0,5 m bedraagt.
3. Er een horizontale (homogene) laagopbouw van de grond aanwezig is.

4. Het zand een:

- D_{50} heeft van minimaal 200 μm ;
- D_{15} heeft van minimaal 100 μm .

Aan de voorwaarden 1, 2 en 4 wordt voor de zandwininput voldaan, aan voorwaarde 3 niet. Uit de geologische scan in paragraaf 2.1 blijkt dat er vanaf ca. NAP -8 m een gestuwde grondopbouw kan voorkomen waarvan de gepaktheid en grondsamenstelling wisselt.

Voor de tijdelijke omput wordt tussen alleen aan voorwaarde 3 en 4 voldaan, aangezien er cohesieve lagen zijn gevonden tussen NAP +2,0 m en NAP +0,5 m.

4.3.1.3 Uitvoering

De exacte wijze van winnen is bij Fugro onbekend. Uitgangspunt in deze rapportage is dat het zand wordt gewonnen door middel van een initiële verstoring met behulp van een steekzuiger of winzuiger.

4.3.1.4 Conclusie beoordeling

Op basis van de CUR 113 kan worden gesteld, dat de kans op een bresvloeiing aanwezig is gezien de kans op de aanwezigheid van gestuwde zandlagen. Tevens is er een risico op bresvloeiing in de tijdelijke omput, gezien de aanwezigheid van cohesieve lagen rond +2 m NAP.

Er kan worden gesteld dat overwegend de wijze van uitvoering een grote rol speelt in het wel of niet optreden van een onbeheerste bres. Om meer inzicht te krijgen in wat het effect is van het winproces van zand op de taludontwikkeling, zijn er berekeningen uitgevoerd in het programma HMBreach voor de zandwininput tot een diepte van NAP -25,0 m. Deze analyse is als maatgevend beschouwd voor zowel de zandwininput als de tijdelijke omput.

Voor de tijdelijke omput wordt geadviseerd om de cohesieve lagen met een cutter- of graafwielzuiger verwijderen en dient in het winplan als randvoorwaarde meegenomen te worden.

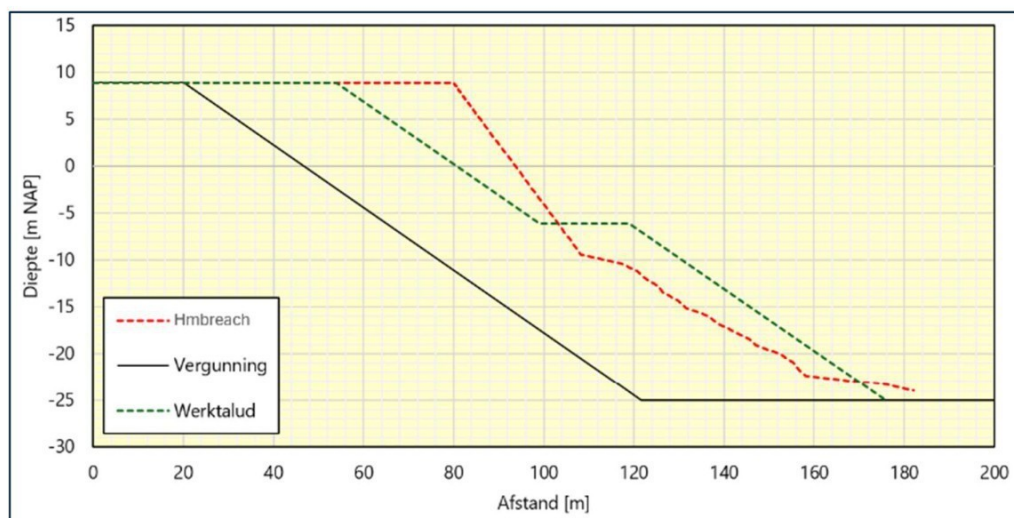
4.3.2 Analyse maximale hoogte brestalud (HMBreach)

HMBreach betreft een door Deltares ontwikkeld softwaremodel waarmee de taludontwikkeling van het brestalud kan worden gesimuleerd op basis van de korrelgrootte van het zand en de voortgangssnelheid van de winzuiger.

Voor het uitvoeren van deze analyse is per meter diepte de D_{50} en de D_{15} van de laag gedefinieerd. Deze is bepaald aan de hand van de zeefdata van de boringen B103, B105, B107, B1 en de boringen B3 tot en met B11. Hierbij is voor elke laag het gemiddelde van de korrelgroottes genomen. Hier is gekozen voor de gemiddelden, omdat er per meter laagdikte slechts enkele zevingen beschikbaar zijn. Verder wordt de verhaalsnelheid van de zuigbuis standaard op 1 mm/s aangehouden. Voor alle taluds een insteekdiepte van 1 m aangehouden.

4.3.3 Resultaten analyse en voorstel werktalud/werkmethodiek

Als er tijdens de winning gebruik wordt gemaakt van een werktalud, die gedurende de exploitatie fase op basis van peildata wordt aangepast aan de actuele situatie. In dit rapport is op basis van de HMBreach resultaten een eerste aanzet gegeven van een werktalud met één platbarm op NAP -6,1 m met een breedte van 20 m als mitigerende maatregel om meewerkend bressen te voorkomen, zie figuur 4-4.



Figuur 4-5: Werktalud met platbarm & vergunningstalud 1v: 3h

Op basis van de uitgevoerde HMBreach-analyse kan worden vastgesteld dat het beoogde vergunningstalud met een helling van 1v:3h op veilige en verantwoorde wijze kan worden gerealiseerd, mits het in het talud aanwezige zand gefaseerd en laagsgewijs wordt gewonnen. In het kader hiervan is, op basis van een eerste verkenning, een werktalud ontwikkeld dat dient als hulpmiddel voor het ontgraven van het zand in drie afzonderlijke winslagen. Hierbij is expliciet rekening gehouden met het meewerkend effect van bressen in relatie tot het faalmechanisme bresvloeiing en de mogelijke aanwezigheid van stoorlagen.

Uit de grondgegevens (§ 2.3.2 Tabel 2-3) blijkt dat vanaf NAP-6,1m stoorlagen van silt (leem) verwacht kunnen worden. Omdat het HM Breach alleen geschikt is om het bressen van zand te simuleren is het effect van stoorlagen in analyse meegenomen door uit te gaan van vanaf NAP-6,1m het zand significant fijner wordt. In Figuur 4-4 is dit te zien dat vanaf NAP-10m de gemodelleerde taludontwikkeling afwijkt en flauwer wordt.

Ervaringen uit eerdere projecten tonen aan dat een dergelijke modellering leidt tot de conclusie dat het toepassen van brestaluds met hoogten van meer dan 10 m resulteert in een significante toename van een onbeheerst bresproces en daarmee een verhoogd risico op het ontstaan van bresvloeiingen.

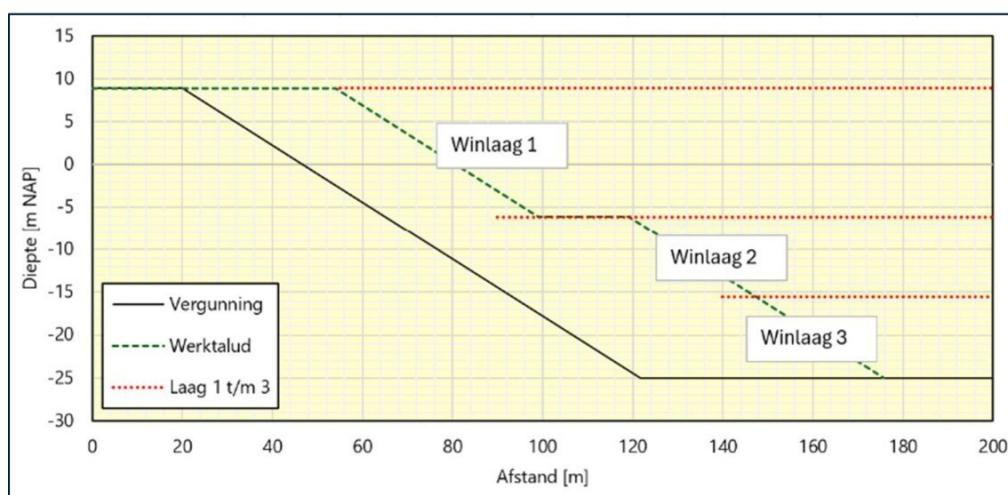
Gezien deze inzichten wordt geadviseerd om conform de CUR113, een winplan op te stellen waarin laagsgewijs winnen van zand wordt toegepast. Zeker omdat de silt (leem) lagen mogelijk gestuwd materiaal is, kan de opbouw sterk variëren. Deze heterogeniteit leidt tot een

sprongsgewijs bres effect en kan leiden tot een moeilijk te beheersen bresproces. Geadviseerd wordt om vanaf NAP-6,1m in het werkplan op te nemen dat de zandwinning laagsgewijs dient te worden uitgevoerd waarbij het zand in laagdikte van maximaal 10 m wordt gewonnen. En waarbij rekening wordt gehouden met het effect van meewerkend bressen. Monitoring van het winproces is hier een noodzaak. Wanneer men bij het winproces merkt dat bresproces onregelmatig verloopt dan in overleg met een geotechnisch specialist het winplan aanpassen door bijvoorbeeld over te gaan naar werktalud met meerdere platberm en winslagen met breshoogten van bijvoorbeeld 5 m.

Op basis van de uitgevoerde HMBreach-analyse en rekening houdend dat vanaf NAP-6,1m stoorlagen kunnen voorkomen volgt dat het risico op onbeheerst bressen in eerste instantie afdoende kan worden beheerst wanneer de zandwinning plaatsvindt in drie lagen met een brestaludhoogte van circa 9 m a 15m (zie Figuur 4 5). Het betreft de volgende winlagen:

- Winlaag 1: breshoogte circa 15m, van NAP+8,9 m tot NAP-6,1 m,
- Een platberm van 20 m breed op NAP-6,1m,
- Winlaag 2: breshoogte van circa 9 m, van NAP-6,1m tot NAP-15,0m
- Winlaag 3: breshoogte van circa 10 m van NAP-15 tot NAP-25m

Monitoring moet uitwijzen of de in dit rapport voorgesteld winwijze leidt tot een veilige uitvoering van het winproces.



Figuur 4-6: Voorstel laagsgewijs winnen projectlocatie

5. Risicobeschouwing

5.1 Algemene risicobeschouwing

Conform CUR 113 is een risicobeschouwing uitgevoerd voor drie relevante faalmechanismen: zettingsvloeiing, onbeheerst bressen en statische stabiliteit. Voor elk mechanisme is een analyse uitgevoerd (Hoofdstuk 4). Uit deze analyse blijkt dat:

- De statische stabiliteit van de zandwinning voldoet aan het RC1 veiligheidsniveau bij een helling van 1:3 of flauwer.
- Er zijn geen verwekingsgevoelige lagen dikker dan 1 meter aanwezig binnen de huidige zandwinning en hiermee heeft dit geen invloed op de statische stabiliteit.
- Het zand voldoet aan de eisen die het mogelijk maakt om met behulp van een winplan (inclusief werktalud) een beheerst bresproces te realiseren.

Naast de analyses uit Hoofdstuk 4 is de kans op falen bepaald met behulp van een semi-probabilistische benadering, waarbij de betrouwbaarheid wordt uitgedrukt via de betrouwbaarheidsindex β en de bijbehorende faalkans P . Deze methodiek sluit aan bij de Eurocode (NEN 9997-1) en maakt het mogelijk om de kans van bresvloeiing te toetsen aan de gestelde veiligheidsniveaus. Op basis van deze benadering zijn randvoorwaarden afgeleid, zoals, de maximale insteekdiepte en het benodigde (werk) talud, waarmee de veiligheid tijdens de uitvoering wordt geborgd.

5.2 Kans op onbeheerst bressen

5.2.1 Inleiding

Op basis van het model van Van Rhee [8] kan de kans op een onbeheerst bresproces met bresvloeiing als gevolg worden beoordeeld. Deze kans is afhankelijk van factoren zoals de grofte en gepaktheid van het zand, het brestalud en de insteekdiepte van de zuigbuis (H_{init}). Uit bresproeven blijkt dat de steilte van het gerealiseerde brestalud bepalend is voor de insteekdiepte en daarmee voor de kans op bresvloeiingen (P_{bres}).

5.2.2 Berekening kans op onbeheerst bressen en insteekdiepte (H_{init})

Een eerste inschatting van de kans op onbeheerste bressen kan worden gemaakt door het kritieke talud te berekenen bij een gegeven insteekdiepte. Omdat de steilte van het brestalud sterk beïnvloed wordt door de variatie in korrelgrootte (D_{50}/D_{15}) en het zand lognormaal verdeeld is, kan de kans op het ontstaan van onbeheerst bressen (P_{bres}) worden vastgesteld voor diverse insteekdiepten van de zuigbuis.

Om te beoordelen of de wijze van winnen veilig wordt uitgevoerd dient de (P_{bres}) per zuigsneede kleiner of gelijk te zijn aan de vereiste faalkans. Voor de Ooijse Graaf is veiligheidsniveau RC1 aangenomen met $\beta = 3,3$ en faalkans = $4,83 \times 10^{-4}$. Deze kans op onbeheerst bressen wordt bepaald aan de hand van een Monte-Carlo simulatie, gegeven een brestalud met de hellingen 1v:3h en 1v:4h. De resultaten van de kritieke hellingen en kansen op onbeheerst bressen zijn weergegeven in tabel 5-1.

Tabel 5-1: Kritisch talud waar bresvloeiing kan optreden (i_{crit}) en de kans op overschrijding

H_{init} [m]	i_{crit} [1v:xh]	Kans op overschrijden 1v:3h talud [-]	Kans op overschrijden 1v:4h talud [-]
0,5	1,7	0	0
1	2,2	$2,81 \times 10^{-5}$ ($\beta=4,03$)	0
1,5	2,6	$1,10 \times 10^{-2}$ ($\beta=2,29$)	$4,72 \times 10^{-8}$ ($\beta=5,34$)
2	2,9	$1,48 \times 10^{-1}$ ($\beta=1,04$)	$2,81 \times 10^{-5}$ ($\beta=4,10$)
2,5	3,2	0,47 ($\beta=0,48$)	$8,61 \times 10^{-5}$ ($\beta=3,13$)
5	3,4		0,43 ($\beta=0,16$)

5.2.3 Conclusie onbeheerst bressen

Op basis van de analyse van het kritische talud voor de situatie bij de Ooijse Graaf kan worden gesteld dat het mogelijk is om zand te winnen met een ontwerptalud van 1:3 met een maximale insteekdiepte van 1 meter. Hieruit volgt $\beta = 4,03$, waarmee het voldoet aan de RC1 veiligheidsnorm. Indien een grotere insteekdiepte gewenst is, dient het vergunningstalud en het werktalud te worden aangepast naar een helling van 1:4. Deze aanpassing maakt het mogelijk om met een insteekdiepte van 2 meter zand te winnen.

5.3 Randzone

De benodigde randzone voor permanente belendingen is bepaald aan de hand van de 'Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing' [6]. De randzone is bepaald op basis van de eigenschappen van het talud. Hierbij geldt als verdere voorwaarde dat de som van de kansen op falen, waarbij de gecreëerde bres groter is dan de te plaatsen platberm, kleiner is dan de veiligheidseis.

Wanneer een randzone van 1 keer de putdiepte (34 m) wordt gehanteerd, blijkt uit de rekenmethode dat de kans dat een inscharing (L) groter is dan de toelaatbare inscharingslengte ($L_{\text{toelaatbaar}}$) gegeven het optreden van een zettingsvloeiing ca. 0,0338% bedraagt:

$$P(L > L_{\text{toelaatbaar}} | ZV) = 3,38 \times 10^{-4}, \quad \beta = 3,40$$

De betrouwbaarheidsindex (β) van de optredende faalkans ligt hoger dan de waarde die conform de Eurocode wordt gehanteerd voor een RC1 veiligheidsniveau. Hier geldt dus dat het risico voldoende klein is wanneer een randzone van 34 meter (1x putdiepte) wordt gehanteerd tijdens de zandwinning.

6. Aanzet winplan

6.1 Inleiding

Om te vermijden dat het vergunde talud tijdens de baggerwerkzaamheden wordt overschreden of dat een steiler brestalud wordt achtergelaten dan de vereiste helling, is een winplan vereist, waarin wordt aangegeven welke uitvoeringsmethode wordt toegepast en met welk werktalud zie paragraaf de winning wordt gerealiseerd. In dit rapport wordt een eerste suggestie gegeven voor de vorm van een winschema dat bij het winplan hoort. Deze voorzet dient te worden beschouwd als een minimumvoorwaarde waaraan een winplan moet voldoen.

Verder is in het talud onderscheid gemaakt tussen het vergunningstalud, wat statisch stabiel dient te zijn en niet overschreden dient te worden; en het werktalud, welke aangehouden dient te worden in het winplan om stabiele taluds die niet voorbij het vergunningstalud inscharen tijdens de zandwinning te benaderen. Het werktalud is onderdeel van het winplan en een voorzet hiervoor is gegeven in (§4.3.2)

6.2 Aanzet winplan

Om te voorkomen dat een te steil brestalud wordt aangezogen wordt geadviseerd om te werken met een jaarlijks winplan waarbij op basis van peilingen per oever een werktalud wordt opgesteld waarmee het zand wordt aangezogen. Dit werktalud wordt jaarlijks aangepast op basis van de actuele taludontwikkeling. Op basis van de in dit rapport uitgevoerde analyse zou het winplan er als volgt uit kunnen zien:

- Er dient een randzone van 34 m aangehouden gerekende vanaf de insteek van het ontwerp diepe zandwinning (winbak). Binnen de randzone van 34 m dienen gedurende de exploitatiefase geen permanente belendingen aanwezig te zijn, waarvoor een RC1 veiligheidsniveau geldt.
- Gronddepots dienen geplaatst te worden op een afstand van ten minste 5 x de hoogte van de kruin van het gronddepot ten opzichte van het minimale waterniveau.
- In dit rapport is ten behoeve van het winplan een eerst aanzet gegeven voor het opstellen van een werktalud. Zie § 4.3.3. Op basis van HMBreach analyse wordt voorgesteld om in 3 winslagen het zand te baggeren.
- Het winplan dient jaarlijks herzien te worden op basis van lodinggegevens en windata.
- Op basis van de taludontwikkeling wordt de in het winplan omschreven werktalud per oever jaarlijks aangepast en ter goedkeuring te worden voorgelegd aan het bevoegd gezag.
- Er moet een winplan aanwezig zijn waarin wordt aangetoond dat voor alle faalmechanismen voldaan wordt aan de veiligheidseis behorend bij RC1 van $\beta \geq 3,3$ voor de eventuele terugstortfase en beheerfase
- De in dit rapport uitgevoerde verweking- en bresanalyse geven aan dat wanneer het ontwikkelde brestalud een helling van 1v:3h of flauwer heeft, het talud kan worden

aangezogen waarbij voor de zuigbuis een initiële insteekdiepte van 1 meter moet worden aangehouden (tabel 5-1).

- Er wordt gestart met winnen van zand in het midden van de zandwinning en er wordt dus van binnen naar buiten gewerkt. Er wordt gefaseerd naar de volle diepte gewonnen.
- Wanneer het winproces zich richting de oeverzone begeeft, wordt op basis van het geactualiseerde winplan laagsgewijs is lagen van 12 meter van boven naar beneden het zandbanket op het talud gebaggerd. Hierbij wordt het winproces gemonitord door middel van 3-maandelijkse peilingen. Dit geldt voor zowel de zandwinning als de tijdelijke omput.

Samengevat zijn bij dit winplan de volgende startvoorwaarden van belang:

- Het zuigproces wordt beheerst door monitoring van positie zuigbuis en productie.
- Dikke stoorlagen ($> 0,5$ m), indien aanwezig, worden met geschikt materieel verwijderd. Dit is in ieder geval de situatie in de tijdelijke omput, waar cohesieve lagen rond NAP +2,0 m zijn gevonden.
- Het winnen gebeurt door middel van een werktalud. De eigenschappen en positie van het werktalud voor de verschillende stappen dienen in het uitvoeringsplan verder uitgewerkt te worden. Door middel van analyses moet worden aangetoond dat de kans op oeverinscharingen kleiner is dan de eis voor RC1 ($\beta = 3,3$).
- De gekozen taluds worden regelmatig gepeild, zodat de taludvorm constant bekend is. Regelmatig wil zeggen dat er zo de taludvorm voortdurend bekend is met een nauwkeurigheid van ca. 2 m (verticaal).
- De insteekdiepte van de zuigbuis (initiële verstoring) is bij een talud met helling 1v:3h maximaal 1 m. Bij een talud met een helling van 1v:4h mag deze insteekdiepte 2,0 m bedragen. Door middel van analyses moet worden aangetoond dat gedurende uitvoering de kans op oeverscharingen lager is dan de eis voor RC1 ($\beta = 3,3$).
- Er wordt een constante zuigdiepte en verhaalsnelheid gehandhaafd (voornamelijk langs de oevers).
- 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 taludsteilen.
- Deze startvoorwaarden worden jaarlijks geëvalueerd en zo nodig aangepast.

7. Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

In deze rapportage is een geotechnische analyse uitgevoerd van de stabiliteit van de zandwinput (lees: aanpassing van de huidige winstrategie) van de huidige zandwinning Ooijse Graaf te Erlecom. Hierbij is gekeken de statische stabiliteit, verwekingsvloeiing en bresvloeiing van de zandwinput en de tijdelijke omput. Voor de berekeningen is uitgegaan van een maximale putdiepte van NAP -25,0 m. Voor de vergunningsaanvraag wordt uitgegaan van een maximale diepte van NAP -20,0 m. Onderstaande conclusies zijn geldig voor zowel een putdiepte van NAP -20,0 m als NAP -25,0 m.

7.1.1 Conclusie faalmechanismen

Uit de analyses volgt dat:

- Op basis van de (statische) stabiliteitsanalyse is voor de noord- en zuidzijde (doorsnede A1 & A2) van versteiling van de huidige zandwinning met een stabiliteitsfactor (SF) van 1,47 het talud statisch stabiel en voldoet het op macrostabiliteit bij het toepassen van 1:3 oevertaluds. Dit geldt voor zowel de zandwinput als de tijdelijke omput.
- Op basis van de uitgevoerde analyse wordt geconcludeerd dat binnen de huidige winning geen verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn. De state parameter is negatief of de laagdikte is onvoldoende om verweking te veroorzaken. De benadering van Sweco in 2021 [1] wordt als erg conservatief beschouwd en de gevonden lagen vormen geen risico m.b.t. een verwekingsvloeiing. Conform de CUR 113 [2] is het niet benodigd om als beheersmaatregel een randzone te hanteren ten behoeve van het risico op verweken.
- Op basis van de analyse van het kritische talud kan worden gesteld dat het mogelijk is om zand te winnen met een ontwerptalud van 1:3 met een maximale insteekdiepte van 1 meter. Hieruit volgt $\beta = 4,03$, waarmee het voldoet aan de RC1 veiligheidsnorm.

Geconcludeerd kan worden dat het vergunningstalud van 1v:3h (of flauwer) tot NAP -20,0 m kan worden aangehouden. Hierbij dient een randzone van 34,0 m aangehouden te worden.

7.1.2 Voorwaarden conclusie

- De zandwinning moet worden uitgevoerd conform een winplan. De voorwaarden waaraan een winplan moet voldoen zijn nader beschreven in hoofdstuk 6.
- Het zuigproces wordt beheerst door monitoring van positie zuigbuis en productie.
- De gezogen taluds worden regelmatig gepeild, zodat de taludvorm constant, bekend is. Regelmatig wil zeggen dat er zo de taludvorm voortdurend bekend is met een nauwkeurigheid van ca. 2 m (verticaal).
- Het winplan en het werktalud is een dynamisch hulpmiddel en dient gedurende de uitvoering van de werkzaamheden jaarlijks op basis van peilingen te worden geactualiseerd aan de veranderende omstandigheden.

- In het winplan wordt aangetoond dat de insteekdiepte van de zuigbuis (initiële breshoogte) is afgestemd op het brestalud om zo te voldoen aan de eis $\beta_{\text{bres}} \geq 3,3$.

7.2 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om een winplan & werktalud (§6.1) op te stellen, waarin wordt aangeven hoe de oevertaluds laagsgewijs worden gebaggerd en hoe meewerkend bressen wordt voorkomen bij een verdergaande verdieping. In dit rapport zijn op basis van HMBreach simulaties en het Van Rhee model de voorwaarden gegeven, waarvoor het theoretisch brestalud stabiel is en is een concept voorgesteld hoe een winplan eruit ziet en wat voor aspecten het moet bevatten.

Appendix A

Risicobeschouwing - randzone

A.1 Randzone

In de Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing [6] wordt een methode gegeven om de kans op zettingsvloeiing te bepalen, gebaseerd op een statistische analyse afschuivingen ten gevolge van het verweken van fijn zand.

Voor het bepalen van de kans op een zettingsvloeiing en/of het overschrijden van de inscharingslengte zijn parameters conform tabel 3-3 gebruikt. De fictieve taludhoogte H_R is in de situatie van een zandwininput $H_R = H_{\text{plas}}$ omdat de termen die betrekking hebben tot de geometrie van een waterkering vervallen.

Tabel 7-1: Parameters verwekingsvloeiing

Symbol	Parameter	Waarde	Eenheid	Toelichting
L_{vak}^1	Lengte van het beschouwde vak	4,9 H_R	km	De invloedsbreedte (B) van winzuiger op basis van statistiek inscharingen
H_{plas}	Diepte plas	33,9	m	Hoogte van maaiveld tot onderkant verwekingsgevoelige lagen.
B	Breedte randzone	34,0	m	Breedte randzone wordt berekend. Dit betreft de minimaal benodigde afstand tussen de oeverlijn zandwinning en objecten zoals huizen, wegen, leidingen e.d.
α_r	Taludhelling van het geschematiseerde onderwatertalud, ten opzichte van horizontaal	1v:3h	-	Werktaalud
ψ_{5m}	De karakteristieke waarde van de state parameter	-0.075	-	Bepaald voor de betrokken sonderingen.
$D_{50,\text{gem},\text{kar}}$	De karakteristieke waarde van de D_{50}	415	μm	Conform tabel 2-2
$D_{15,\text{gem},\text{kar}}$	De karakteristieke waarde van de D_{10}	208	μm	Conform tabel 2-2
$D_{10,\text{gem},\text{kar}}$	De karakteristieke waarde van de D_{10}	152	μm	Conform tabel 2-2
$F_{\text{cohesivelayers}}$	Parameter die de invloed van stoorlagen uitdrukt	1	-	Lokaal klei- en/of veen aanwezig
V_{lokaal}	Maat voor beweeglijkheid van de vooroever	0,01	m/jaar	Minimale waarde voor de oeverlijn waar geen significante beweging is waargenomen
V_{zeelan}	Beweeglijkheid van een gemiddeld Zeeuwse vooroever	1	m/jaar	Referentie

¹In het bepalen van een optredingskans (P(ZV)) van een (bres) vloeiing voor een zandwinproject wordt voor L_{vak} in plaats van de oeverlengte de invloedsbreedte (B) van de winzuiger genomen aangezien de kans op een (bres) vloeiing volledig door de winzuiger wordt geïnitieerd en niet door de natuurlijke morfodynamische processen zoals genoemd in SHZV2019